



ICT-päätelaitteisiin liittyvät materiaali-, energia- ja ilmastokysymykset

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:12

Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:12

ICT-päätelaitteisiin liittyvät materiaali-, energia- ja ilmastokysymykset

Jáchym Judl, Susanna Horn, Janne Pesu, Hannu Savolainen, Petrus Kautto

Liikenne- ja viestintäministeriö

ISBN PDF: 978-952-243-613-9

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, julkaisutuotanto

Helsinki 2020

Kuvailulehti

Julkaisija	Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja		11.8.2020
Tekijät	Jáchym Judl, Susanna Horn, Janne Pesu, Hannu Savolainen, Petrus Kautto		
Julkaisun nimi	ICT-päätelaitteisiin liittyvät materiaali-, energia- ja ilmastokysymykset		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2020:12		
Diaari/hankenumero	VN/8054/2019	Teema	
ISBN PDF	978-952-243-613-9	ISSN PDF	1795-4045
URN-osoite	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-613-9		
Sivumäärä	96	Kieli	Suomi
Asiasanat	ilmastovaikutukset, ympäristövaikutukset, tieto- ja viestintätekniikka-ala, elektroniikkalaitteet		
Tiivistelmä <p>Liikenne- ja viestintäministeriö tilasi tämän selvityksen tieto- ja viestintäteknologia-alan ilmasto- ja ympäristöstrategian valmistelun tueksi Suomen ympäristökeskus SYKEltä. ICT-ala pystyy vaikuttamaan positiivisesti muiden alojen ilmasto- ja ympäristövaikutuksiin, mutta aiheuttaa samanaikaisesti laitteiden valmistuksen ja käytön osalta myös negatiivisia ilmasto- ja ympäristövaikutuksia, kuten päätelaitteiden valmistukseen käytettyjen materiaalien louhinta ja jalostus, käytönaikainen energiankulutus ja kierrätykseen liittyvät haasteet. Myös päätelaitteiden ulkopuolinen infrastruktuuri aiheuttaa huomattavia ympäristövaikutuksia. Raportissa tarkastellaan päätelaitteiden keskeisiä materiaali-, energia ja ilmastokysymyksiä sekä arvioidaan niihin liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia.</p> <p>Laitteet tuotetaan lähes poikkeuksetta Suomen ulkopuolella, joten suurimmat mahdollisuudet Suomessa liittyvät laitteen ympäristötehokkaan käytön ja kierrätyksen parantamiseen sekä vastuullisempien raaka-aineiden tuotantoon. Kuluttajien tietoisuuden ja ymmärryksen lisääminen päätelaitteiden energiatehokkaista käyttötavoista, ohjelmistopäivityksistä ja korjattavuudesta on tärkeää. Lisäksi laitteiden elinkaaritiedon systemaattisempi kerryttäminen on keskeinen toimenpide. EU:n ekosuunnittelu-, energiatehokkuus- ja kiertotaloussääntelyyn ja -toimiin vaikuttaminen nousee myös esille.</p>			
Kustantaja	Liikenne- ja viestintäministeriö		
Julkaisun myynti/jakaja	Sähköinen versio: julkaisut.valtioneuvosto.fi Julkaisumyynti: vnjulkaisumyynti.fi		

Presentationsblad

Utgivare	Kommunikationsministeriet		11.8.2020
Författare	Jáchym Judl, Susanna Horn, Janne Pesu, Hannu Savolainen, Petrus Kautto		
Publikationens titel	Material-, energi-, och klimatfrågor som rör IKT-terminalutrustning		
Publikationsseriens namn och nummer	Kommunikationsministeriets publikationer 2020:12		
Diarie- /projektnummer	VN/8054/2019	Tema	
ISBN PDF	978-952-243-613-9	ISSN PDF	1795-4045
URN-adress	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-613-9		
Sidantal	96	Språk	Finska
Nyckelord	klimatpåverkan, miljöpåverkan, it-branschen, elektronisk utrustning		
<div>Referat</div> <p>Kommunikationsministeriet beställde denna utredning av Finlands miljöcentral SYKE till stöd för beredningen av klimat- och miljöstrategin för it-branschen. IKT-branschen kan ha en positiv inverkan på andra branschers klimat- och miljöpåverkan, men i och med tillverkning och användning av utrustning kan den också påverka klimatet och miljön negativt, till exempel vid brytning och förädling av material som används vid tillverkningen av terminalutrustning, energiförbrukning under användningstiden och utmaningar i anslutning till återvinning. Även terminalutrustningens externa infrastruktur har betydande miljöpåverkningar. I rapporten granskas terminalutrustningens centrala frågor gällande material, energi och klimat, och utmaningar och möjligheter som är förenade med dem bedöms.</p> <p>Utrustningen produceras nästan utan undantag utanför Finland, så de största möjligheterna i Finland hänför sig till miljövänligare användning och bättre återvinning av utrustningen, och produktion av mer ansvarsfulla råvaror. Det är viktigt att öka konsumenternas medvetenhet och förståelse om energieffektiva användningssätt, programvaruuppdateringar och reparationer av terminalutrustning. Dessutom är det viktigt med en mer systematisk insamling av information om utrustningens livscykel. Påverkan på EU:s bestämmelser och åtgärder i fråga om ekodesign, energieffektivitet och cirkulär ekonomi lyfts också fram.</p>			
Förläggare	Kommunikationsministeriet		
Beställningar/ distribution	Elektronisk version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Beställningar: vnjulkaisumyynti.fi		

Description sheet

Published by	Ministry of Transport and Communications		11 August 2020
Authors	Jáchym Judl, Susanna Horn, Janne Pesu, Hannu Savolainen, Petrus Kautto		
Title of publication	Material, energy and climate issues related to ICT devices in Finland		
Series and publication number	Publications of the Ministry of Transport and Communications 2020:12		
Register number	VN/8054/2019	Subject	
ISBN PDF	978-952-243-613-9	ISSN PDF	1795-4045
Website address URN	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-613-9		
Pages	96	Language	Finnish
Keywords	climate impacts, environmental impacts, ICT sector, electronic equipment		
Abstract <p>The Ministry of Transport and Communications commissioned this report from the Finnish Environment Institute SYKE to support the preparation of the climate and environmental strategy for the ICT sector. While the ICT sector can have a positive effect on the climate and environmental impacts of other sectors, it also causes negative climate and environmental impacts connected to the manufacture and use of equipment, such as the extraction and processing of materials used in the manufacture of devices, energy consumption during use and challenges related to recycling. The external infrastructure required for the operation of end user devices also has a significant impact on the environment. The report examines the key material, energy and climate issues related to end user devices and assesses the challenges and opportunities they present.</p> <p>Almost without exception, end user devices are produced outside Finland, so the greatest potential for mitigating their environmental impacts in Finland is related to improving the environmentally efficient use and recycling of equipment and producing raw materials more responsibly. It is important to increase consumers' awareness and understanding of the energy-efficient use of end user devices and the significance of software updates and reparability. More systematic accumulation of information on the life cycle of devices is another key measure. In addition, the EU's role in influencing ecological design, energy efficiency and circular economy regulation and measures emerges as a significant factor.</p>			
Publisher	Ministry of Transport and Communications		
Publication sales/ Distributed by	Online version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Publication sales: vnjulkaisumyynti.fi		

Sisältö

	Lukijalle.....	10
1	Johdanto	11
2	Päätelaitteiden kysyntä.....	14
2.1	Kysyntään vaikuttavat tekijät.....	14
2.2	Laitteiden kysyntä Suomessa.....	17
2.2.1	Myyntitilat.....	17
2.2.2	Käytössä oleva laitekanta.....	22
2.3	Verkkoyhteyden mahdollistavien liittymien määrä Suomessa.....	23
2.4	Päätelaitteiden kysyntä globaalisti	25
3	Päätelaitteisiin liittyvät raaka-ainevirrat	29
3.1	Päätelaitteiden materiaalikoostumus.....	29
3.2	Päätelaitteisiin liittyvät materiaalivirrat Suomessa.....	32
3.3	Yksittäiset raaka-aineet tai raaka-aineryhmät	35
3.3.1	Kriittiset raaka-aineet.....	35
3.3.2	Konfliktimineraalit	36
3.3.3	Haitalliset aineet	37
3.4	Suomen primääraaka-ainevarannot ja niiden hyödyntäminen	39
4	Päätelaitteiden kierrätys	41
4.1	Kierrätetyt volyymit.....	41
4.2	Kierrätysasteet	43
4.3	Kierrätyksen tekninen toteutus	44
4.4	Eri ICT-laitteiden tai komponenttien kierrätys.....	47
4.5	Kierrätykseen liittyvät ongelmat.....	49
4.5.1	Jätevirran koostumus	49
4.5.2	Kierrätysprosessin valinta.....	50
4.5.3	Suljettu kierto – onko se mahdollista?	51

4.6	Kierrätyksen mahdollistajat	53
4.6.1	Kierrätyksen mahdollistavat kantajametallit.....	53
4.6.2	Ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu	54
4.6.3	Arvoketjuyhteistyö	54
4.6.4	Elinkaarijohtaminen	55
5	Päätelaitteiden käyttöön liittyvä energiankulutus.....	56
5.1	Globaalin ICT-sektorin energiankulutus	56
5.2	Laitekohtainen energiankulutus.....	58
5.3	Päätelaitteiden käytönaikainen energiankulutus Suomessa	60
5.4	Energiankulutukseen vaikuttaminen.....	63
6	Päätelaitteiden ilmastovaikutukset	66
6.1	Globaalin ICT-sektorin kasvihuonekaasupäästöt.....	66
6.2	Laitekohtaiset ilmastovaikutukset.....	66
6.3	Päätelaitteiden ilmastovaikutukset Suomessa	68
6.4	Kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaminen	70
7	ICT-laitteisiin liittyvät haasteet ja mahdollisuudet Suomessa	72
7.1	Raaka-aineet.....	72
7.2	Tuotesuunnittelu.....	75
7.3	Tuotanto	77
7.4	Käyttö	78
7.5	Kierrätys	79
8	Johtopäätökset.....	83
	Liitteet	86
	Lähteet.....	90

LUKIJALLE

Tieto- ja viestintäteknologia-alalla on kahtalainen rooli ilmaston ja ympäristön kannalta. ICT-sektorilla on keskeinen rooli ilmasto- ja ympäristöystävällisemmän yhteiskunnan mahdollistajana, mutta samalla se aiheuttaa energian- ja materiaalinkulutusta ja päästöjä. Liikenne- ja viestintäministeri Marin asetti syksyllä 2019 tieto- ja viestintäteknologia-alan ilmasto- ja ympäristöstrategiaa valmistelevan työryhmän. Strategian tavoitteena on muodostaa yhteinen näkemys alan ilmasto- ja ympäristövaikutuksista Suomessa sekä suositella keinoja, joilla vaikutuksia voidaan hallita.

ICT-päätelaitteisiin liittyy suuria materiaalivirtoja, joiden ennustetaan jatkavan kasvuaan. Suureen elektroniikkalaitteiden määrään liittyy haasteita materiaalivirtojen kestävyyden ja laitteiden kierrätyksen suhteen. Liikenne- ja viestintäministeriö tilasi osana ICT-alan ilmasto- ja ympäristöstrategian valmistelua selvityksen ICT-päätelaitteisiin liittyvistä materiaali-, energia- ja ilmastokysymyksistä sekä niihin liittyvistä haasteista ja mahdollisuuksista.

Selvityksen toteutti Suomen ympäristökeskus SYKE, jossa työstä vastasivat Jáchym Judl, Susanna Horn, Janne Pesu, Hannu Savolainen ja Petrus Kautto.

Selvityksessä esitetyt johtopäätökset ovat selvityksen toteuttajien, eivätkä välttämättä edusta liikenne- ja viestintäministeriön näkemyksiä.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Tuuli Ojala liikenne- ja viestintäministeriöstä, Jarkko Vesa työ- ja elinkeinoministeriöstä, Marja Heinonen Liikenne- ja viestintävirasto Traficomista sekä Juha Toivanen Energiavirastosta.

1 Johdanto

ICT-ala on ympäristö- ja ilmastovaikutuksiltaan monitahoinen sektori, joka tuotteillaan ja palveluillaan pystyy aikaansaamaan systeemistä parannusta muilla sektoreilla, mutta samalla laitteiden valmistus ja käyttö aiheuttaa myös negatiivisia ilmasto- ja muita ympäristövaikutuksia. Näitä negatiivisia ympäristövaikutuksia aiheuttavat mm. päätelaitteiden valmistukseen käytettyjen materiaalien louhinta ja jalostus, laitteiden käytön aikainen energiankulutus ja kierrätykseen liittyvät haasteet. Lisäksi päätelaitteiden ulkopuolinen infrastruktuuri aiheuttaa huomattavia ympäristövaikutuksia, jotka jäävät kuluttajalle usein näkymättömäksi. Tämän raportin tarkoitus on tarkastella päätelaitteiden keskeisiä materiaali-, energia ja ilmastokysymyksiä sekä arvioida niihin liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia.

Eri tuotteiden ympäristövaikutukset mallinnetaan yleensä niiden koko elinkaaren ajalle (esim. ISO 14040; Euroopan komissio, 2008), jotta saadaan kattavasti arvioitua kaikkien elinkaaren vaiheiden aiheuttamat ympäristövaikutukset ja välttämään eri elinkaaren vaiheiden välinen osaoptimointi. ICT-tuotteiden elinkaari (Kuva 1) alkaa tyypillisesti raaka-aineiden louhimisesta ja prosessoinnista sekä tuotteen valmistuksesta. Vaikka tuotesuunnittelu ei suoranaisesti liity materiaalivirtojen liikkumiseen, nähdään tuotesuunnittelu yleisesti yhtenä elinkaaren vaiheena ennen tuotteen valmistusta senkin takia, että se vaikuttaa merkittävästi tuotteen seuraaviin elinkaaren vaiheisiin. Valmistuksen jälkeen tuote päättyy kuluttajalle, joka käyttää sitä tuotteen käyttöänsä ajan. Tähän elinkaaren vaiheeseen voi liittyä tuotteen korjaus ja uudelleenkäyttö (repair and reuse) tai toinen käyttötarkoitus (second life). Jos kiertotalous toimii tehokkaasti, voitaisiin teknisen käyttöänsä jälkeen laite vielä uudelleenvalmistaa tai sen komponentit hyödyntää suoraan uuden laitteen kokoonpanossa. Näitä toimintamalleja hyödynnetään varsin harvoin vielä nykyään. Kun laite on elinkaarensa loppuvaiheessa, eikä sitä tai sen komponentteja voida enää uudelleenkäyttää, toimitetaan se yleensä keräyksen ja kierrätyksen piiriin. Näin materiaalit voidaan hyödyntää materiaaleina uudestaan. Samalla osa esimerkiksi palavista materiaaleista, kuten muoveista, voidaan hyödyntää energiana. Huonoimmassa vaihtoehdossa laite, tai sen osat, joutuvat loppusijoitukseen, jossa materiaaleja tai niiden sisältämää energiaa ei hyödynnetä uudestaan (esim. materiaalihäviöt, kaatopaikat).



Kuva 1 Päätelaitteen tyypillinen elinkaari

Päätelaitteiden aiheuttamia negatiivisia vaikutuksia ympäristöön tai yhteiskuntaan ovat mm.

- Laitteiden elinkaarin energiankulutus ja siihen liittyvät ilmastovaikutukset
- Laitteiden materiaalivalintoihin liittyvät raaka-aineiden energia- ja vesi-intensii-
vinen louhinta ja prosessointi
- Eräisiin materiaaleihin liittyvät vastuullisuusriskit, kuten huonot työskentelyolot
ja lapsityövoima, konfliktit ja korruptio
- Hankalasti prosessoitavan jätteen synty
- Vaarallisten aineiden käyttäminen

Tämän tarkastelun kohteena ovat päätelaitteet, joiksi lasketaan pöytätietokoneet, kannettavat tietokoneet ja tabletit, älypuhelimet, matkapuhelimet ja -kellot sekä älytelevisiot. Näiden kuluttajapäätelaitteiden lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan myös reitittimiä, verkkolaitteita ja palvelimia siltä osin kuin niiden energiankulutus liittyy suoraan

päätelaitteiden käyttöön. IoT-laitteisiin, sensoreihin ja tulevaisuuden teknologioihin ei tarkastelussa keskitytä, vaikka tulevaisuuden trendit osoittavat siihen suuntaan, että kysyntä tulee erityisesti niiden osalta kasvamaan. Näillä laitteilla on merkittävä potentiaali mm. energia- ja materiaalitehokkaiden teollisten prosessien optimoinnissa ja siten ympäristö- ja ilmastovaikutusten pienentämisessä.

2 Päätelaitteiden kysyntä

2.1 Kysyntään vaikuttavat tekijät

ICT-sektori on globaalisti nopeasti kasvava ala (Mas ym., 2018) ja päätelaitteita myydään maailmassa miljardeja laitteita vuosittain. Vuonna 2018 älypuhelin myynti oli noin 1,5 miljardia kappaletta globaalisti ja Suomessakin yli 2 miljoonaa kappaletta. Päätelaitteiden suuren kysynnän lisäksi niihin liitettävät tarvikkeet, kuten esim. kuulokkeet, kaiuttimet, kuvaustarvikkeet ovat Suomessa jo yli 100 M€:n voimakkaasti kasvava markkina (Gotech, 2019b).

Päätelaitteiden käyttömahdollisuudet lisääntyvät sekä laitteiden kehityksen että yhteiskunnan digitalisaation myötä. Kysyntään vaikuttavat myös sosiaaliset tekijät – päätelaitteita käytetään paljon ja niistä on tullut tärkeä osa elämää. Päätelaitteiden kysyntään vaikuttaa laaja joukko tekijöitä, mm. seuraavat (Proske & Finkbeiner, 2020; Judl, 2018; Rousseau, 2020; Salo ym., 2019; Türkeli ym., 2019):

- Laitteiden laskevat hinnat
- Jatkuva tuotekehitys, esim. ohjelmistokehitys ja komponenttien, näyttötekniologioiden, IC-piirien kehitys
- Laitteiden ja komponenttien lyhyet tekniset käyttöiät
- Ympäristömyönteisen suunnittelun puuttuminen
- Ohjelmistojen suunniteltu lyhytikäisyys
- Korjaamisen vaikeus
- Intensiivinen markkinointi, johon liittyy kuluttajien kiihtyvä halu uusia laitteensa uusimpaan

Nämä seikat johtavat myös vanhojen laitteiden hylkäämiseen, vaikka ne olisivatkin vielä käyttökelpoisia (TWI2050, 2019; Proske & Finkbeiner, 2020). Esimerkiksi Isossa-Britanniassa, yli puolet älypuhelimien omistajista vaihtaa laitteensa kahden vuoden välein (Statista, 2019a). Toisaalta vaihtonopeuteen vaikuttaa myös ikä – 20-

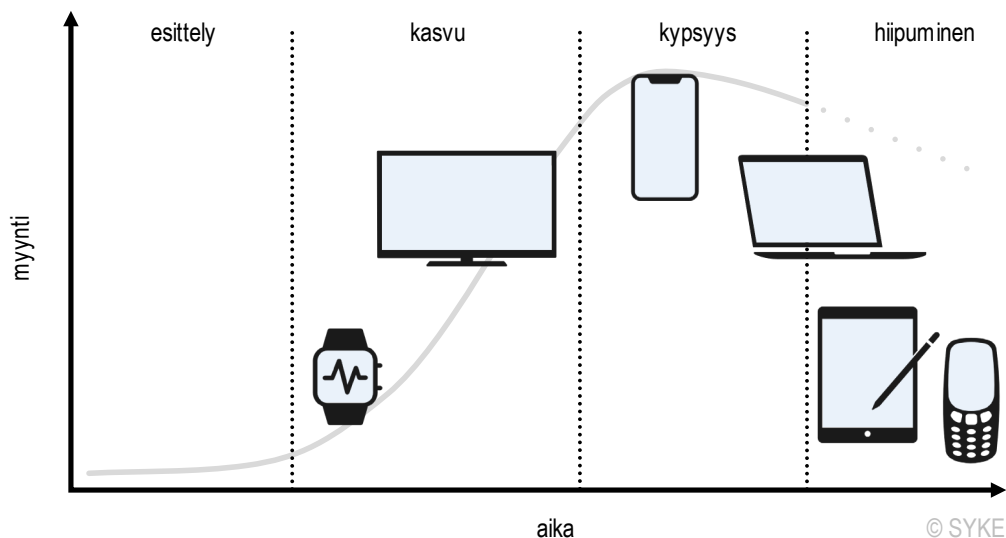
39 vuotiaat vaihtavat älypuhelimensa useammin kuin tätä vanhemmat ihmiset (Statista, 2019b). Taulukkoon 1 on kerätty eri lähteiden oletuksia keskimääräisille käyttäjille laitetyypeittäin.

Taulukko 1 Tuotteiden käyttöiät eri lähteiden mukaan

	ADEME 2018	Suckling & Lee 2015	Deng 2017	Bakker ym. 2014	Judl et al. 2018	Cordella ym. 2020
älypuhelin	2 v	2-3 (4)			21 kk	4,5 v
matkapuhelin			23 kk	4,6 v		
lappari	4 v			4,1 v		
pöytätietokone	6 v					
tabletti	3 v					
älykello	5 v					
älytelevisio	8 v			10 v		
modeemi	3,5 v					

Tuotekohtainen kysyntä etenee usein perinteisen kaupallisen elinkaaren¹, toisin sanoen tuotteen kypsyysmallin mukaan (Kuva 2). Kysyntää nostaa uudessa tuotekategoriassa nähtävä nopea tekninen kehitys ja uusien käyttötapojen syntyminen. Kehityksen saavuttaessa käytön kannalta riittävän tason, rupeaa uusimistarve väheneään ja käyttöiät pidentyvät. Kasvun kypsyminen tarkoittaa vaihetta, jossa kasvunopeus hiljenee. Vakaassa kypsytydessä markkinat ovat kyllästetyt, eli myynnin määrä on samassa suhteessa käyttäjien määrään. Rapistuva kypsyys tarkoittaa kysynnän pientymistä määrällisesti (esim. Kotler, 1990). Teknologiatuotteista tulee vanhentuneita ja ne korvataan muilla tuotteilla. Näin on käynyt esim. kirjoituskoneille, kasettisoittimille ja perinteisille matkapuhelimille.

¹ Tuotteen kaupallisen elinkaaren etenemisestä puhutaan usein myös ”elinkaarimalina”. Tämän raportin keskiössä on kuitenkin elinkaari sen materiaalivirtojen osalta (raaka-aineet, tuotanto, käyttö, käytöstäpoisto), minkä takia näitä kahta tuotteeseen liittyvää elinkaarta ei tule sekoittaa toisiinsa.



Kuva 2 Tuotteen kypsäys markkinoilla, kaupallinen "elinkaari"

Vaikka kypsäysmalli osoittaa myynnin ja kysynnän vauhdin kasvua (tai hiipumista) yksittäisille päätelaitteille, ei se välttämättä auta arvioimaan kulutuselektronikan kokonaisympäristövaikutuksia: kun tuotteen kysyntä alkaa hiipua, on seuraava tuote jo kasvuvaiheessa. Kokonaisvaikutuksia määriteltäessä on huomioitava sektorin kokonaismateriaalitarve ja -energiankulutus, ml. mahdolliset korvaus- ja heijastevaikutukset. Ympäristön kannalta laitteiden kaupalliset elinkaaret ovat kuitenkin mielenkiintoisia muutamasta eri näkökulmasta, mm.:

- Vanhemman ja yksinkertaisemman teknologian hiipuessä on tämä tyypillisesti korvattu kompleksisemmalla teknologialla. Pienielektronikan kompleksisuus on etenkin viime vuosina tarkoittanut sitä, että niiden valmistukseen on tarvittu harvinaisempia ja uusia materiaaleja, joiden tuotanto on resurssi-intensiivistä ja toimitusketjut vakiintumattomia, saattaen siten sisältää myös vastuullisuusriskejä. Asiasta tekee moniulotteisen myös se, että kompleksisempi tuote on saattanut myös korvata joitain muita laitteita (Judl yml. 2012) tai toisaalta uusien kompleksisempien tuotteiden myynti on saattanut myös kasvattaa lisälaitteiden myyntiä, esimerkiksi kaiuttimien, kuulokkeiden, laitureiden tms.
- Aika kaupallisen elinkaaren alusta loppuun on lyhenemässä. Tämä tarkoittaa, että koko syklin ajallinen pituus lyhenee ja uusia tuotteita tuodaan markkinoille, mikä tarkoittaa, että laitteiden ei odoteta kestävän teknisen käyttökänsä päähän, vaan ostetaan uusi, kasvuvaiheen laite jo niin pian, kun sellainen tuodaan markkinoille.

- Lyhyet tuotesykliä ja yhä kompleksisemmat tuotteet aiheuttavat haasteita kierrätysprosessien optimoinnille muuttuvien kierrätysvolyymien ja materiaali-koostumusten vuoksi.
- Laitteen kasvuvaiheen usein lähes eksponentiaalinen kasvuvauhti luo laitteiden tarjontaan haasteita, etenkin jos laite vaatii erikoisia tuotantoteknologioita tai eksoottisia materiaaleja. Tyypillisesti ”kypsässä” kaupallisuuden vaiheessa laitteiden tuotanto ja hankintaketjut on pystytty optimoimaan tehokkaammiksi.

ICT-alan kehitys jatkuu edelleen voimakkaana ja markkinat ovat siirtymässä kohti uusia tuotteita ja palveluita. Uudenlainen verkkoliitettävyys ja 5G-verkko, digitaalinen transformaatio, IoT-kytkettävyys, sosiaaliset sovellukset, tekoäly, virtuaalitodellisuus, data-analytiikka, pilvipalvelut, hybridiverkko jne. vaikuttavat kaikki myös siihen, mitkä toiminnan ympäristövaikutukset ovat. Vaikka laitteilla ei ole käytännössä suoraa päästöjä, vaativat uudet tuotteet ja palvelut usein uutta infrastruktuuria. Vaikka monet uusista, innovatiivisista laitteista ja palveluista helpottavat ihmisten elämää ja tekevät siitä mukavampaa, terveellisempää ja tehokkaampaa, vaikuttaa niiden laajamittaisempi käyttöönotto nykyisiin materiaalivirtoihin ja energiankulutukseen. Järjestelmää kokonaisuutena tulisi arvioida myös ympäristön kannalta. Tässä raportissa keskitytään pääasiassa nykyisiin käytettäviin laitteisiin, mutta on otettava huomioon, että vaikka niiden kysyntä saattaakin olla tasaantumassa, tulisi skenaarioita jatkon kannalta luoda myös uusille, vanhoja korvaaville tuotteille, tai täysin uusia funktionaalisuuksia tarjoaville tuotteille. Lisäksi on varmistettava, että ennen kuin uudet tuotteet tulevat elinkaarensa päähän, on niiden materiaalien uudelleenkäyttö suunniteltu mahdollisimman tehokkaasti.

2.2 Laitteiden kysyntä Suomessa

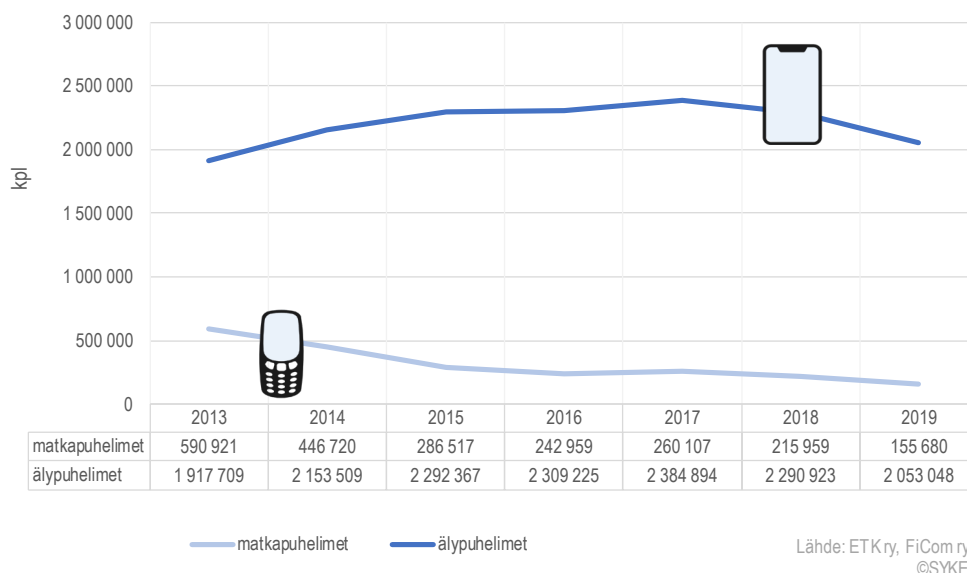
2.2.1 Myyntitilastot

Päätelaitteiden kysyntä Suomessa esitellään kuvassa 3. Luvut on keränyt Elektronii-kan Tukku-kauppiat (ETK) ry:ltä², joka ylläpitää Gotech-tiedotussivustoa ja kulutus-hyödykkeiden teknologiatilastoja Suomessa.

Tilastojen mukaan älypuhelimien myynti kappalemäärissä mitattuna on selkeästi suurin yksittäinen hyödykeryhmä (2 053 000 kappaletta vuonna 2019). Näiden myynti kasvoi vuosien 2013–2017 välillä, mutta on siitä lähtien laskenut 14 % vuoteen 2019

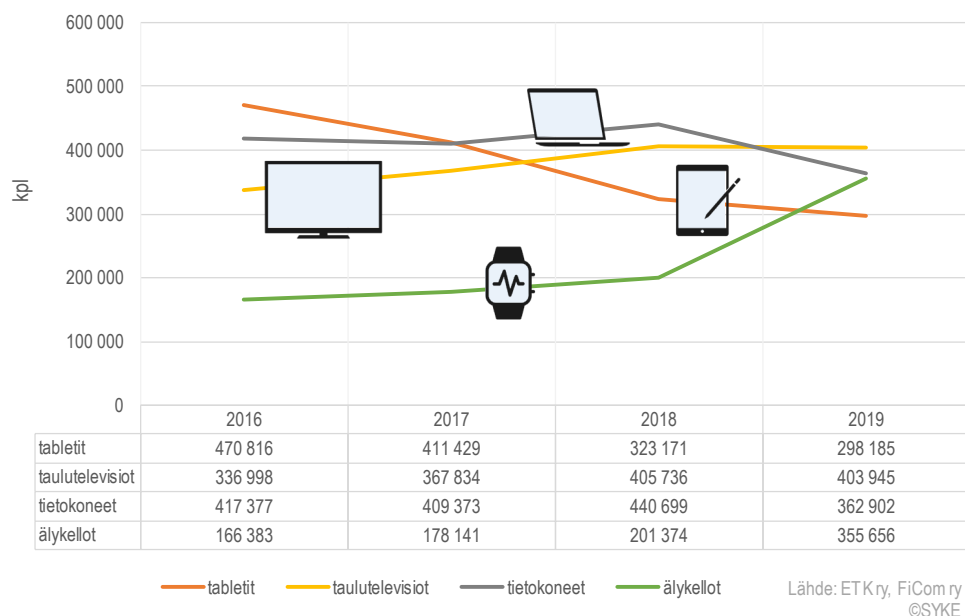
² <https://www.etkry.com/>

asti (Kuva 3). Perinteisten matkapuhelinten myynti on laskenut koko seurantajakson ajan (-36 % vuosina 2013-2019)



Kuva 3 Puhelinten myynti Suomessa (Lähde: ETK ry, FiCom ry)

Muista päätelaitteista tietokoneiden myynti on vähentynyt 13 % ja tablettien myynti 37 % vuosien 2016–2019 aikana (Kuva 4). Toisaalta, tablettien, kannettavien ja jopa älypuhelimien kategorisointi on entistä hankalampaa, sillä niiden funktionaalisuudet ja muut käyttöön vaikuttavat ominaisuudet alkavat olla lähellä toisiaan. Älytelevisioiden myynti on kasvanut 20 % vuosina 2016-19 ja älykellojen myynti peräti 114 %, josta pelkästään viime vuonna kasvua oli 83 %.



Kuva 4 Muiden päätelaitteiden myynti Suomessa (Lähde: ETK ry, FiCom ry)

Laskemaan kääntyneiden myyntimäärien lisäksi älypuhelinmarkkinoiden kyllästymisestä kertovat tilastot niiden henkilöiden osuudesta kokonaisväestöstä, joilla on jo käytössä älylaite. Suomessa noin 83 %:lla asukkaista on älypuhelin omaan käyttöönsä (taulukko 2). Älypuhelin käyttö nuorilla on suositumpaa kuin vanhemmilla ihmisillä, eli 98 %:lla alle 45-vuotiaista on älypuhelin, mutta 75–89-vuotiaista vain 27 %:lla on laite. Opiskelijoista jopa 99 % on älypuhelin, kun eläkeläisistä vastaava luku on 53 %. Niiden kotitalouksien osuus, joilla on jokin tietokone käytössään, on 87 % kaikista kotitalouksista. Tabletti löytyy 54 %:sta kotitalouksista (taulukko 3).

Taulukko 2 Älypuhelimien käyttö, %-osuus väestöstä (SVT, 2019)

	Omassa käytössä älypuhelin [%]*
16-24v	98
25-34v	98
35-44v	98
45-54v	93
55-64v	90
65-74v	63
75-89v	27
Opiskelija	99
Työllinen	96
Eläkeläinen	53
Kaikki	83

*3G- tai 4G-internetyhteydellä varustettu matkapuhelin, jossa on kosketusnäyttö

Taulukko 3 Kotitalouksissa käytössä olevat tabletti- ja muut tietokoneet, %-osuus väestöstä (SVT, 2019)

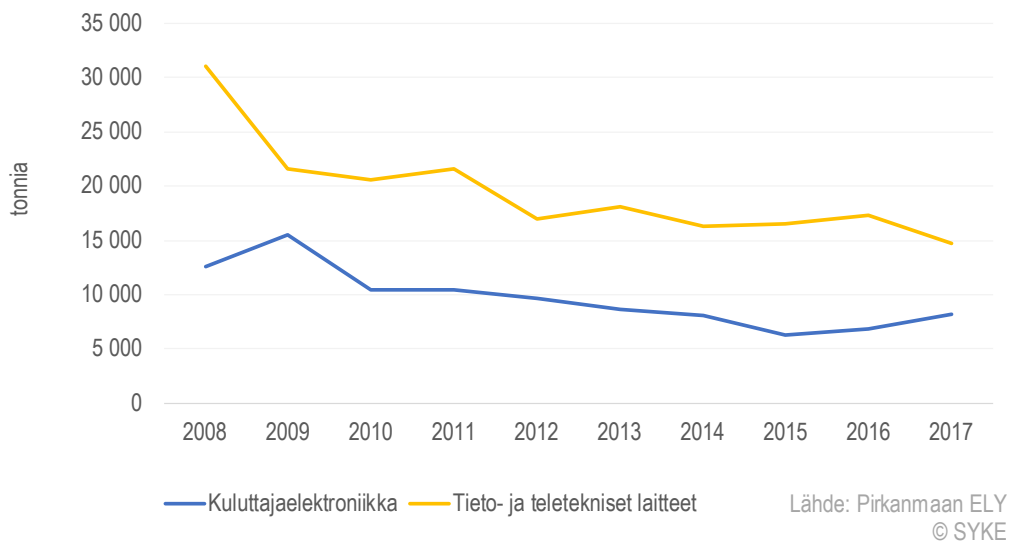
	Tablettitietokone	Jokin tietokone
Kaikki kotitaloudet	54	87

Uusien, puettavien älylaitteiden kysyntä on kasvanut, tosin joidenkin kaupallisten kyselytutkimusten mukaan (Accenture, 2014) osa kuluttajista kokee vaikeuksia käyttäessään uudentyyppisiä älylaitteita. Kaikkiaan 83 % on kohdannut ongelmia muun muassa fitness-rannekkeiden, sekä puettavien terveysteknologian laitteiden käytön yhteydessä. Ongelmat ovat liittyneet esimerkiksi käytön hankaluuteen, asennuksen vaikeuteen tai siihen, että laitteen toiminta ei ole odotetun mukaista. Nykyään yleisimmät puettavat älylaitteet ovat älykellot ja fitness-rannekkeet (Bachér et al. 2017).

Laitteiden kysyntää arvioitaessa voidaan myös hyödyntää Pirkanmaan ELY-keskuksen (Pir-ELY) seuraamia myyntimääriä ja jätevirtoja Suomessa. Tilastot on koottu tonnimäärissä, eikä kappaletasolla kuten yllä. Materiaalivirtojen kannalta tonnimäärät ovat käyttökelpoisia indikaattoreita, sillä eri kategorian tuotteet voivat mittasuhteiltaan, painoiltaan ja materiaalivaatimuksiltaan erota toisistaan merkittävästi. Laitteiden painojen lisäksi myös laitteiden sisältämät eri materiaalit ovat olennaista tietoa, jota ei kuitenkaan ko. tilastossa pystytty seuraamaan.

Pir-ELY:n tilastot sisältävät uusien (a) tieto- ja teleteknisten laitteiden sekä (b) kuluttajaelektronikan tuonnin Suomeen. Tieto- ja teletekniset laitteet ovat tämän raportin kannalta mielenkiintoisia, sillä kategoria sisältää kaikki ne tuotteet, joissa on sisäinen muisti. Tietokoneet, tabletit, matkapuhelimet ja älypuhelimet ovat osa tätä tilastoa. Kulutuslaitteisiin kuuluvat esimerkiksi laajakuva-TV:t. Näiden tilastojen pohjalta on nähtävissä, että tonnimäärissä mitattuna kotimaan markkinoille toimitettujen muistilaitteiden määrä on vähentynyt noin puoleen seurantajakson aikana (2008–2017) kun taas muun kuluttajaelektronikan määrä on vähentynyt vain noin 20 % (Kuva 5).

Tonnimäärien vähenemisen taustalla on laitteiden keventyminen ja korvaantuminen pienemmän kategorian laitteilla. Esimerkiksi pöytätietokoneet korvautuvat kannettavilla ja nekin osittain tableteilla tai joissain tapauksissa jopa älypuhelimilla. Vaikka tilastojen mukaan materiaalien absoluuttinen käyttö vähenee, on syytä painottaa, että pienemmät ja siten kompleksisemmat laitteet ovat hankalammin kierrätettäviä.

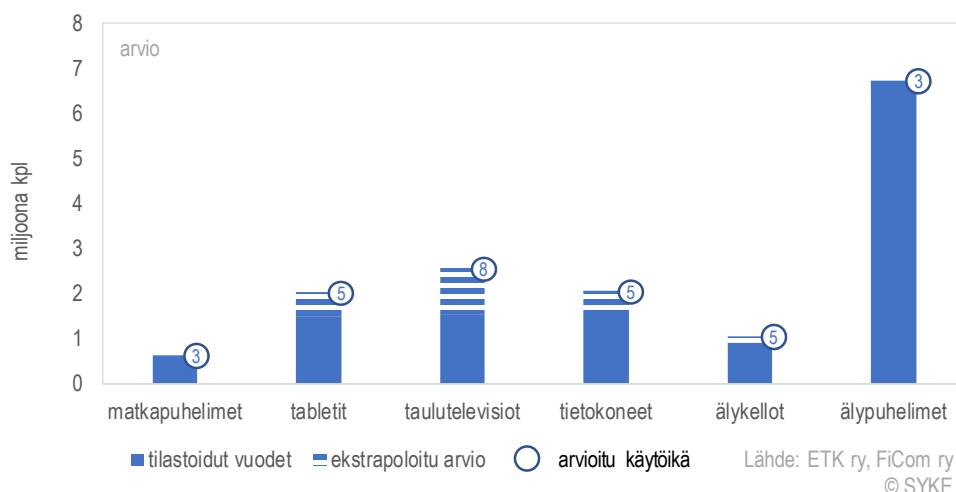


Kuva 5 Suomen markkinoille toimitetut laitteet (Lähde: Pir-ELY)

2.2.2 Käytössä oleva laitekanta

Vuosittaisen myyntilukujen ja toimitusmäärien lisäksi voidaan tarkastella myös käytössä olevien laitteiden määrää. Kuva 6 esittää arvion Suomessa käytössä olevista laitteista ja niiden keskimääräisistä käyttöiästä. Laskelma on tehty laskemalla yhteen vuosittaiset myyntiluvut (ETK ry, FiCom) keskimääräisen käyttöiän mukaan, eli esimerkiksi älypuhelimien osalta 3 vuoden myynnit vuosilta 2017–2019. Käyttöiät perustuvat pääosin ADEMen (2018) arvioihin, mutta puhelinten ja tablettien osalta laskennallista käyttöikää on nostettu vastaamaan Liikenne- ja viestintävirasto Traficom (2020) tilastojen liittymien määrää (Taulukko 4). Kaikkien tuoteryhmien osalta käytössä ei ollut riittävän monen vuoden myyntilukuja ja puuttuvat myyntiluvut on ekstrapoloitu lineaarisesti. Tablettien, tietokoneiden ja älykellojen osalta on näin arvioitu yhden vuoden myyntiluvut (2015) ja taulutelevisioiden osalta vuodet 2012–2015.

Tämän tarkastelun mukaan kotitalouksien käytössä on näistä päätelaitteista selkeästi eniten älypuhelimia, yli 6 miljoonaa, ja taulutelevisioita alle puolet siitä. Tabletteja ja tietokoneita on molempia noin 2 miljoonaa laitetta. Näitä arvioita käytetään myöhemmin pohjana Suomen kokonaistilannetta arvioitaessa ja arviot on tehty yleiskuvan ja suuruusluokkien hahmottamiseksi. Tällä tarkastelulla voidaan myös arvioida käytössä olevien materiaalien potentiaalia, joka tulisi tehokkaalla keräyksellä ja kierrätyksellä muutaman vuoden päästä kierrätyksen piiriin tarjoten raaka-aineita uusiin käyttötarkoituksiin.



Kuva 6 Arvio käytössä olevista päätelaitteista Suomessa vuonna 2020 (oma laskelma ETK ry:n, FiCom ry:n datojen pohjalta)

Taulukko 4 Liittymätilasto 2019 (Lähde: Traficom, 2020)

Matkaviestinverkon liittymät liittymätyyteittäin - tuhatta liittymää	2019
Matkaviestinverkon liittymät - vain puhepalvelut	690
Matkaviestinverkon liittymät - puhe- ja tiedonsiirtopalvelut	6 460
Matkaviestinverkon liittymät - vain tiedonsiirtopalvelut	2 110

2.3 Verkkoyhteyden mahdollistavien liittymien määrä Suomessa

Verkkopalveluja hyödyntävät päätelaitteet vaikuttavat oman energiankulutuksensa lisäksi välillisesti myös verkon ja verkossa sijaitsevien palvelujen energian käyttöön. Kaikki tarkastellut päätelaitteet voivat kytkeytyä internetiin ja sen takia on oleellista ottaa ympäristötarkastelussa huomioon myös käytön aiheuttama välillinen energiankulutus. Verkkoyhteyden olemassaolo ja sen laatu vaikuttavat mahdollisuuteen käyttää eri palveluja ja palveluilla voi olla hyvinkin erilainen hiilijalanjälki. Esimerkiksi teräväpiirtovideon suorakatselu vaatii nopean verkkoyhteyden ja aiheuttaa myös välillisiä päästöjä kuluttamalla energiaa verkkolaitteissa ja palvelinkeskuksissa. Tämä energiankulutus on käyttäjälle näkymätöntä ja tapahtuu usein kaukana päätelaitteen käyttäjästä, jopa eri mantereella.

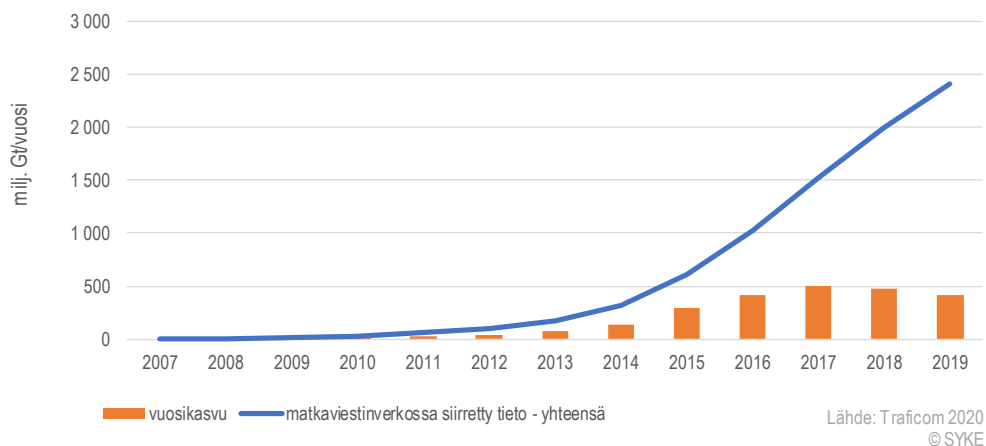
Suomen laajakaistamarkkina on kehittynyt ja Suomessa on muihin Pohjoismaihin ja Baltiaan verrattuna eniten laajakaistaliittymiä. Vuoden 2018 lopussa Suomessa oli 72 laajakaistaliittymää sataa asukasta kohden. Suomen laajakaistaliittymät ovat muihin Pohjoismaihin nähden hyvin mobiilipainotteisia ja kiinteän verkon laajakaistaliittymiä on Suomessa vain 31 sataa henkeä kohden. Erillinen laajakaistaliittymä löytyy lähes joka taloudesta (95 %), mutta sen lisäksi myös yksi tai useampia mobiililaitteita omalla laajakaistayhteydellään. Matkaviestinverkon tiedonsiirtopalvelut sisältävistä liittymistä yli 80 % sisältää datayhteyden yli 10Mbit:in laskevalla nopeudella (download). (Traficom 2020)

Tilastokeskuksen mukaan kuluttajat käyttävät älypuhelintaan eniten päästäkseen internetiin. Etenkin nuoret käyttävät älypuhelimiaan tähän tarkoitukseen, mutta myös vanhemmat ikäpolvet ovat löytäneet älypuhelimien hyödyt nettiselailussa (Taulukko 5). Myös kannettavaa tietokonetta suositaan internetin käytössä, erityisesti opiskelijoiden keskuudessa. Pöytätietokone on tässä suhteessa menettämässä osuuttaan kaikissa ikäryhmissä.

Taulukko 5 Internetin käyttö eri laitteilla 2019, %-osuus väestöstä (SVT 2019)

	Tablettitieto- koneella	Kannettavalla tieto- koneella	Pöytätietoko- neella	Matkapuheli- mella	Muulla pienlait- teella
16-24v	40	80	44	98	18
25-34v	43	76	48	98	17
35-44v	62	79	40	97	23
45-54v	52	74	35	93	8
55-64v	54	72	38	84	5
65-74v	35	50	27	54	2
75-89v	11	21	14	20	1
Opiskelija	44	85	48	99	15
Työllinen	54	77	41	95	15
Eläkeläinen	26	41	22	45	2
Kaikki	44	66	36	80	11

Verkkoliikenteen energiankulutukseen, ja siten laitteiden epäsuoriin ympäristövaikutuksiin, vaikuttaa päätelaitteen verkkoyhteys, siirretyn datan määrä ja se mitä palveluja verkossa käytetään. Tiedon siirto mobiiliverkossa kuluttaa yleensä enemmän energiaa kuin kiinteässä dataverkossa (Schien & Priest, 2014). Suomessa on muihin Pohjoismaihin tai Baltian maihin verrattuna suurin siirretyn datan määrä per käyttäjä mobiiliverkoissa. Siirretyn datan määrä kuukaudessa per henkilö oli 30,7 Gt vuonna 2018 (Traficom, 2019). Latvia on tilastossa toisena; siellä siirretyn datan määrä per käyttäjä on silti selkeästi pienempi, vain 15,8 Gt. Vaikka päätelaitteiden ja liittymien määrät eivät Suomessa kasva, on liikenteen kasvu edelleen voimakasta, vaikkakin eksponentiaalisen kasvun vaihe on, ainakin toistaiseksi, ohitettu (Kuva 7). Mobiilidatan suuri käyttö selittyy ainakin osin tiedonsiirtokäytöltään rajoittamattomien liittymien yleisyydellä – matkaviestinverkon liittymiä käytetään yleisesti kiinteiden laajakaistaliittymien sijasta (Traficom 2019).



Kuva 7 Mobiiliverkoissa siirretyn datamäärän kasvu (Lähde: Traficom, 2020)

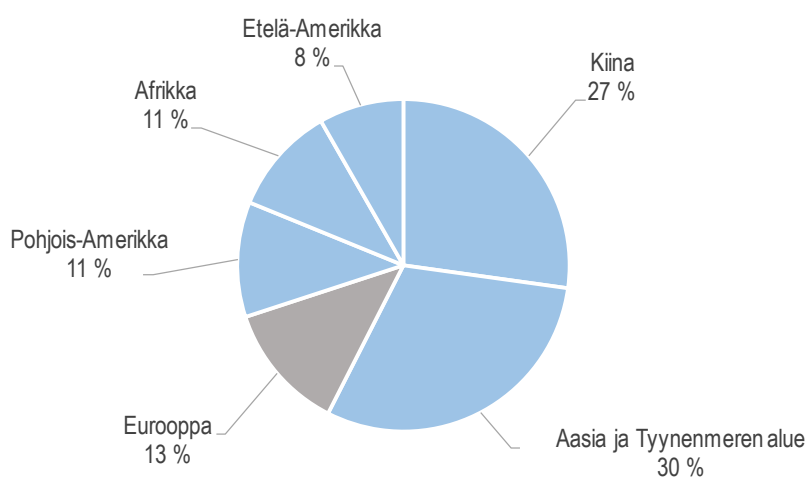
2.4 Päätelaitteiden kysyntä globaalisti

Vaikka tutkimuksessa tarkastellaan päätelaitteita Suomen kannalta, on tärkeää ymmärtää päätelaitteiden arvoketjujen globaalit kytkökset. Suurin osa (99 %) laitteista (Nissinen & Savolainen, 2019) tuodaan Suomeen ulkomailta ja Suomen osuus globaalista päätelaitemyynnistä on pieni, alle 1 % kaikissa tarkastelluissa tuoteryhmissä (ETK ja Statista, 2020).

Globaaleja ristikytköksiä aiheutuu esimerkiksi siitä, että Euroopan mittakaavassa Suomi tuottaa suhteellisen paljon laitteisiin tarvittavia harvinaisempia metalleja (luku 3.3). Näin ollen, Suomessa louhittavien high-tech metallien kysyntä (mahdollisesti myös hinta) saattaa kasvaa jatkossa, mikäli näitä viedään nopeasti kehittyville markkinoille. Suomi, ja itse asiassa koko EU, on silti ylivoimaisen riippuvainen sekä päätelaitteiden raaka-aineiden, että niistä valmistettujen kulutushyödykkeiden osalta EU:n ulkopuolisista maista. Globaalia vuorovaikutusta muodostuu päätelaitteiden kierrätysvaiheesta, sillä suomalaisten kehittämät tai käyttämät kierrätysteknologiat ovat suhteellisen kehittyneitä ja saamme materiaaleja teknisesti hyvin talteen. Näitä materiaaleja voidaan edelleen hyödyntää laitteiden tuotannossa muualla. Suomella on lisäksi monia kierrätykseen liittyviä strategisia kehitysalueita, joten alue tulee kasvamaan tärkeydessään jatkossakin.

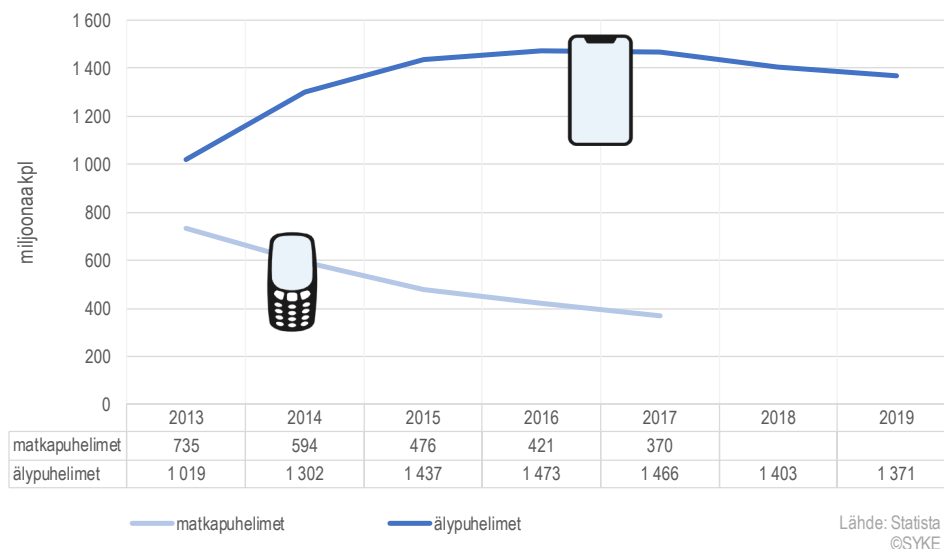
Älypuhelimet ovat viime vuosina globaalistikin olleet kappalemyynniltään selvästi suurin päätelaiteryhmä. Älypuhelimien osalta koko maailmassa myytyjen laitteiden määrä oli noin 1 500 miljoonaa kappaletta vuonna 2018 (Statista, 2020). Noin puolet tästä

määrästä on myyty Aasian kehittyvillä markkinoilla (Kuva 8). Älypuhelinmyynti Länsi-Euroopassa on jo saturoitunut ja lähtenyt Suomen tavoin pieneen laskuun. Euroopan älypuhelinmyynti on alle 15 % koko maailman älypuhelinmyynnistä. (Cordella, 2020)



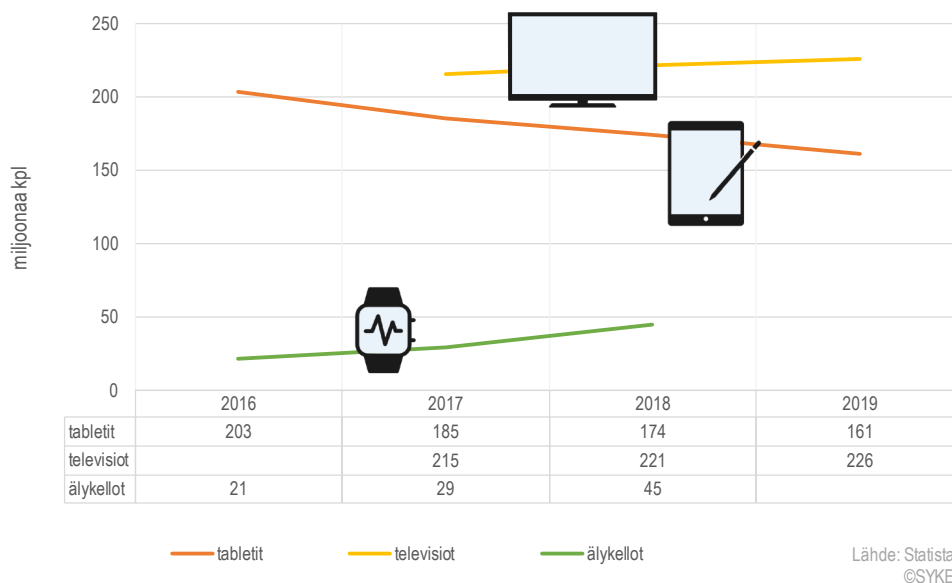
Lähde: Gartner (2019)
© SYKE

Kuva 8 Älypuhelinmyyntien globaalien myyntien jakautuma, v. 2018 (Lähde: Gartner, 2019)



Kuva 9 Puhelinten myynti globaalisti (Lähde: Statista, 2020)

Globaali päätelaitemyynti on samansuuntainen Suomen tilanteen kanssa. Edelleen suurinta myyntivolyymia edustavien älypuhelimien kasvu on taittunut ja uusissa kategorioissa, kuten älykelloissa, nähdään nopeimmat kasvuvauhdit (Kuva 9 ja Kuva 10).



Kuva 10 Muiden päätelaitteiden myynti globaalisti (Lähde: Statista, 2020).

Tulevaisuuden arvioita päätelaitteiden myynnistä, kuten mitä tahansa tulevaisuuden oletuksia, on hankala tehdä. Kysyntään vaikuttavat esimerkiksi tarjonnan puolelta verkkoyhteysien mahdollistaminen tai fragmentoituminen, 5G-verkon rakentaminen, tietoturva-asiat tai toisaalta myös kuluttajiin tai kysyntään vaikuttavat tekijät kuten teknologian hyväksyminen, käyttömukavuus ja lisäarvon mahdollistaminen sekä yleinen ymmärrys ympäristö- ja sosiaalisesta vastuullisuudesta ja kiertotaloudesta. On arvioitu, että vuonna 2023 70 %:lla maailman väestöstä olisi verkkoyhteys (Cisco, 2020). Mobiilitilaajien määrän arvioidaan kasvavan 5,1 miljardista (66 % väestöstä) vuonna 2018 5,7 miljardiin (71 % väestöstä) vuonna 2023. Mobiiliyhteysien määrä kasvaa 8,8 miljardista vuonna 2018 13,1 miljardiin vuonna 2023. Näin ollen vuonna 2023 oletetaan olevan kaksinkertainen määrä mobiiliyhteysiä verrattuna väestön lukumäärään. Datan siirtonopeuden oletetaan kasvavan samalla aikavälillä 13,2 Mbps:sta 43,9 Mbps:iin. (Cisco, 2020)

Ennustamisen vaikeuden johtosta tulevaisuuden arvioihin on hyvä sisällyttää erilaisia skenaarioita. Esimerkiksi Seppälä ym. esittivät vuonna 2013 kolme eri skenaariota älypuhelinmarkkinoiden kehityspoluista. Tällöin älypuhelimet olivat kysynnän kasvun alussa. Eri skenaarioissa puhelimet olisivat joko jääneet lyhytikäiseksi teknologiaksi, jonka uusi teknologia olisi poistanut markkinoilta ripeästi, toisen mukaan myyntihuippu oltaisiin saavutettu vuonna 2016, minkä jälkeen myynti hiipuisi. Kolmas skenaario perustui ajatukseen, että älypuhelimista tulisi ns. välttämättömyystuote, jotka saturatiopisteen saavutettuaan pysyisivät tasaisella kysyntätasolla. Viimeinen skenaario on toistaiseksi toteutunut, vaikka myyntiluvut ovatkin jääneet hieman skenaarion luvuista.

3 Päätelaitteisiin liittyvät raaka- ainevirrat

Päätelaitteiden, kuten monien muidenkin elektronisten tai muiden tuotteiden, kompleksisuus ja niissä käytettyjen eri materiaalien määrä on kasvanut viimeisten vuosikymmenien aikana rajusti (UNEP, 2013). Päätelaitteisiin liittyvät tärkeimmät materiaalit ovat metallit, muovit ja lasi. Näiden osalta erityisesti metallit ovat mielenkiintoisia ympäristön kannalta. Niiden louhinta ja prosessointi aiheuttavat merkittävästi enemmän ympäristövaikutuksia verrattuna muoviin tai lasiin, etenkin jos laitteiden kierrätys ei ole sujuvaa³. Tämän takia raportissa keskitytään metalleihin, mutta muovien ja muiden materiaalien osuutta hahmotetaan kokonaisuuden kannalta.

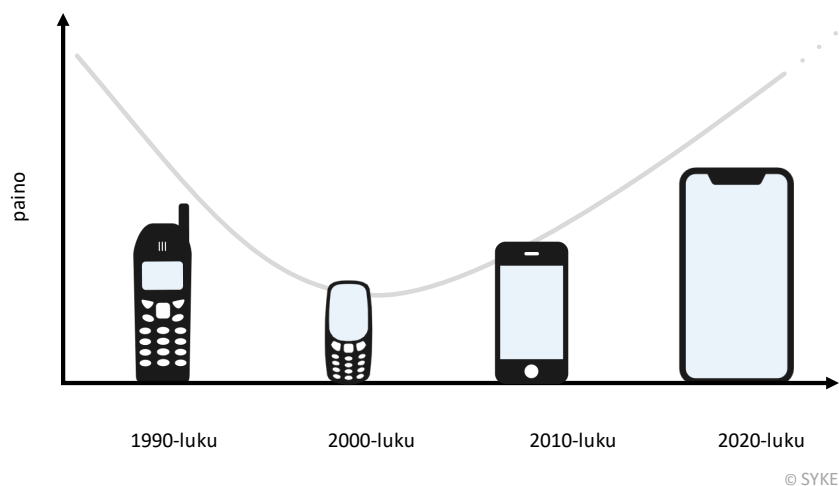
3.1 Päätelaitteiden materiaalikoostumus

Päätelaitteiden materiaalivalintaan ja sen monipuolisuuteen vaikuttavat materiaalien eri ominaisuudet sekä se, että laitteissa haetaan niiden avulla eri toiminnallisuuksia. Elektroniikkateollisuus käyttää huomattavia määriä esimerkiksi jalometalleja niiden kemiallisten, korroosio- ja sähkönjohto-ominaisuuksien takia (Cayumil, 2015). Toiminnallisuuksia kehitellään jatkuvasti, mikä asettaa uusia vaateita myös materiaaleille ja niiden soveltuvuudelle eri käyttötarkoituksiin. Uusien päätelaitteiden julkaisutahti on nopea ja voidaan olettaa, että vuoden 2030 älylaite on erilainen kuin tänä päivänä käyttämämme. Mikroelektroniikan kehitys voi tuoda myös erilaisia materiaalihaasteita (Schischke et al., 2019).

Esimerkiksi matkapuhelimia ja niihin liittyviä materiaalitarpeita kuvasivat 2000-luvun alussa pienenevät laitekoot, joissa kokonaispaino lähenteli 100 grammaa tai vähemmän. Käytännön rajoitteet katkaisivat tämän trendin, sillä näytön ja näppäimistön minimi oli saavutettu ergonomian kannalta. Noin vuoden 2008 jälkeen teknologian kehitys siirtyi laitteen kompleksisuuden kasvattamiseen ja matkapuhelimista tehtiin pienoistietokoneita. Materiaalien kannalta tämä tarkoitti aivan uusien yhdisteiden käyttöä tai funktionaalisuuksien hakemista. Viime vuosina kehitystrendi on siirtynyt isompien näyttöjen ja kestävämpien akkujen kehittelyyn (Kuva 12), mikä onkin osaltaan vaikuttanut esimerkiksi akkumetallien kysynnän kasvuun, joka tosin johtuu suurelta osin

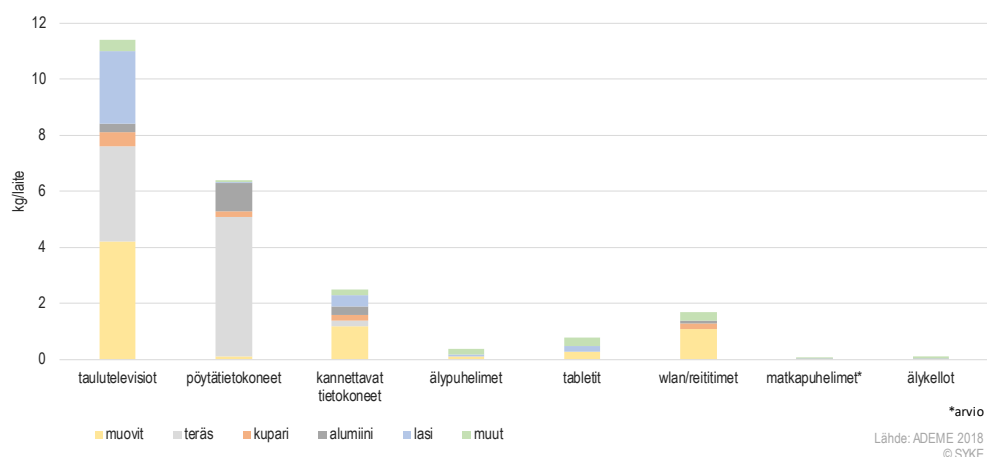
³ Kierrätys pienentää tehokkaasti materiaalien jalanjälkeä. Jos kierrätystä ei tapahdu, nojaututaan pelkästään primäärivarantoihin, jolloin ympäristövaikutuskin on suurin.

myös sähköautojen kysynnän kasvusta (Reuters, 2019, 2020; Bloomberg, 2019; Macquarie Research, 2019).



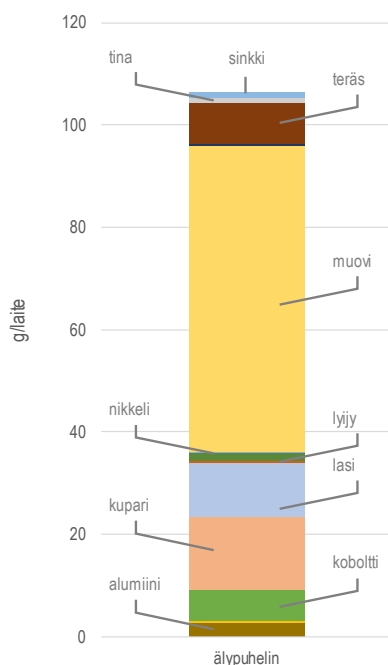
Kuva 11 Matkapuhelinten koon ja painon kehitys 1990-2020

Nykyiset älylaitteet voivat koostua yli 60 eri materiaalista, eri määrissä ja eri tavoin toisiinsa yhdistettynä (liimattu, ruuvattu, komposiitteina). Kuva 12 esittää nykyisten taulutelevisioiden, pöytätietokoneiden, kannettavien tietokoneiden, älypuhelimien, tabletien, reititinten, matkapuhelinten ja älykellojen päämateriaaleja ja niiden osuutta laitteiden koko painosta.



Kuva 12 Päätelaitteiden sisältämät päämateriaalit (ADEME, 2018)

Kuvassa 13 havainnollistetaan esimerkkiälypuhelimien materiaalisisältöä suurimpien materiaalien osalta.



Lähde: Cucchiella ym. (2015)
© SYKE

Kuva 13 Materiaalikoostumus, älypuhelin (Cucchiella ym., 2015).

Päätelaitteiden sisältämät materiaalit voidaan jakaa metalleihin, muoveihin, lasiin tai keraamisiin aineisiin. Mutta jos halutaan arvioida tarkemmalla tasolla yksittäisten laitteiden sisältämiä materiaaleja, on arvioita hankala saada, sillä valmistajat eivät tyypillisesti julkaise näin tarkkoja tietoja. Tämän takia materiaaleja on tutkittu purkamalla laite osiin (Vice, 2017). Laitekohtainen materiaalipanous riippuu pitkälti laitteesta ja mallista. Mutta esimerkiksi älypuhelin sisältää keskimäärin 70 eri elementtiä, ja metalleja 62, joista 16 on harvinaisia maametalleja (Nield, 2015). Kullakin materiaalilla on oma funktionsa (neodymium, terbium ja dysprosium mahdollistavat värinän, terbium ja dysprosium näyttöjen värit, jne) ja nämä ovat äärimmäisen heikosti substituotavissa muihin materiaaleihin (Graedel ym., 2015).

Päätelaitteiden osalta ovat metalleista olennaisia hopea, alumiini, kadmium, kulta, koboltti, kromi, kupari, dysprosium, rauta, gallium, indium, litium, magnesium, neodyymi, nikkeli, palladium, praseodyymi, platina, tina, tantaali, titaani, volframi, iridium, osmium, rhodium, rutenium, lyijy ja sinkki. Elektronisissa laitteissa metalleja käytetään mm. kuorissa, johdoissa tai kaapeleissa, puolijohteissa, liittimissä, transistoreissa, diodeissa, kytkimissä, mikropiireissä tai piirilevyissä, kondensaattoreissa sekä akuissa

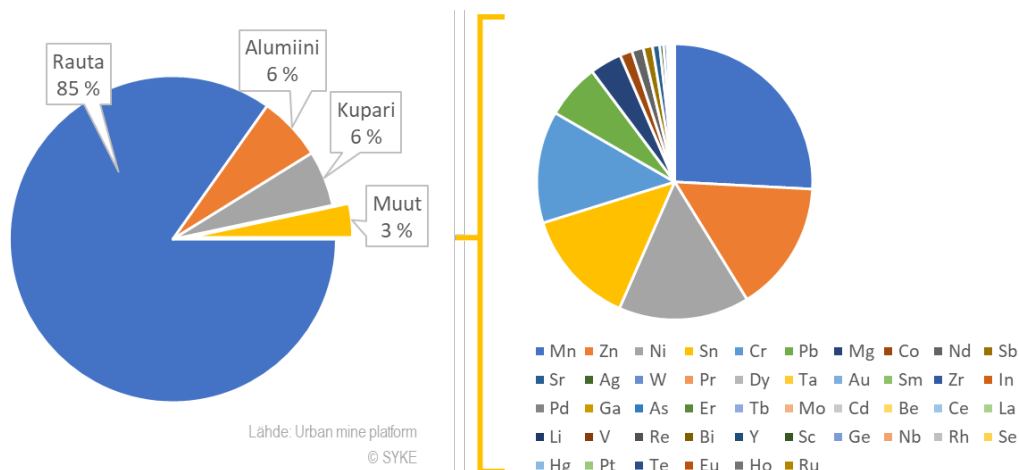
(ml. litium-ion akuissa). Niitä käytetään myös lasissa tai sekoiteaineina. Riippuen sovelluksesta, voi materiaaleja olla lukuisia mutta yksittäisten eri metallien osuus silti pysyä hyvinkin pienenä.

3.2 Päätelaitteisiin liittyvät materiaalivirrat Suomessa

Urban mine platform⁴ on ProSUM-projektin koostama tietopankki EU:ssa sijaitsevien metallien varannoista ja virroista. Siihen on kerätty tietoja elektroniikkaan, autoihin, akkuihin ja kaivosjätteisiin liittyvistä metalleista. Tietopankin mukaan, Suomessa pieniin IT-laitteisiin (pöytätietokoneet, älypuhelimet, reitittimet, ulkoiset muistit, hiiret, näppäimistöt, tulostimet) liittyvät materiaalivirrat ovat noin 1,81 kg henkilöä kohti (Urban Mine Platform, 2020). Suomalaiset virrat ovat eurooppalaista keskiarvoa – Luxemburgilla on korkein luku 2,87 kg, Liettualla pienin 0,54 kg henkilöä kohti. Luku pitää sisälleen laitteiden koko painon kaikkine materiaaleineen ja on Suomen tapauksessa pienentynyt vuodesta 2000 noin 3 %.

Pienten IT-laitteiden osalta tietopankista löytyy maakohtasta tietoa laitteiden sisältämisestä 49 eri metalleista. Vuosittain Suomen markkinoille tuodusta pienelektroniikasta painossa mitattuna suurin yksittäinen metalli on rauta, jota arvioiden mukaan tuodaan markkinoille pienten IT-laitteiden kautta 3 807 tonnia (85 % kokonaisvirrasta). Alumiini (286 tonnia, 6 %) ja kupari (247 tonnia, 6 %) muodostavat massaltaan myös suuria virtoja. Loput 46 metallia muodostavat kokonaisuudessaan 3,3 % kokonaisvirrasta. Esimerkiksi mangaania tuodaan markkinoille näiden tuotteiden kautta 38 tonnia (0,9 %), lyijyä 9,7 tonnia (0,21 %), kobolttia 2,2 tonnia (0,05 %), kultaa 152 kg (0,003 %) ja platinaa 1,1 kg (0,000024 %) (Kuva 14). Yksittäisten metallien määrät ja kysynnän muutoksen vuodesta 2013 esitellään liitteessä 2. Kokonaismateriaalivirta-analyysin avulla voidaan laskea myös materiaalien kierrätyspotentiaalin suuruuksia, joista voi muotoutua tulevaisuudessa varteenotettavia raaka-ainevirtoja.

⁴ www.urbanmineplatform.eu



Kuva 14 Suomessa myydyin elektronikan sisältämät metallit (Urban Mine Platform, 2020)

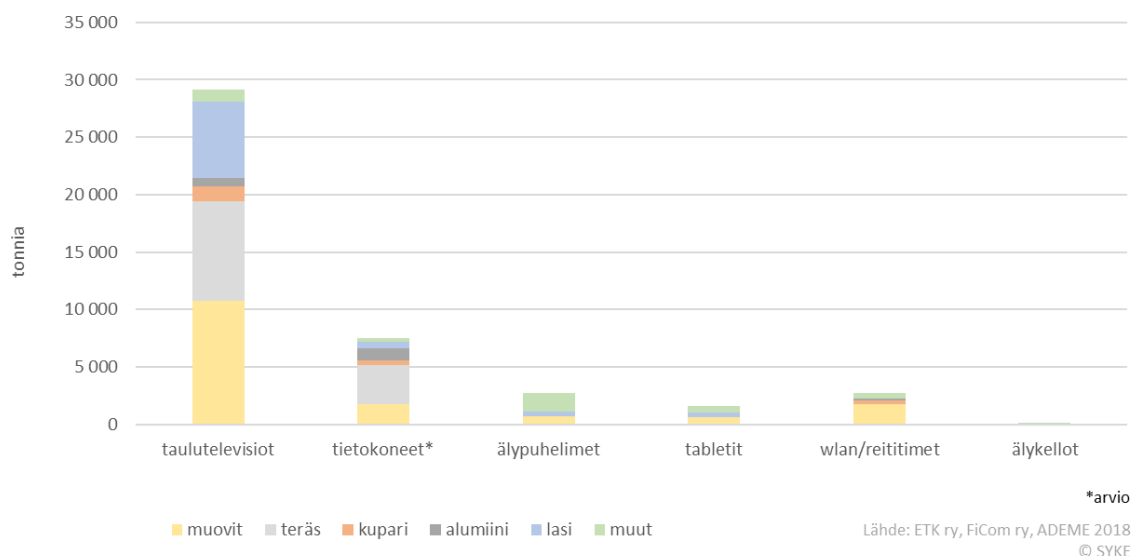
Sen lisäksi, että laitteita arvioidaan yhtenä virtana, on myös hyvä tiedostaa, että päätelaitteet eroavat toisistaan fyysisten ominaisuuksien perusteella; ne ovat eri painoisia ja ne sisältävät eri metalleja ja muita materiaaleja, jotka aiheuttavat eri tyyppisiä ja suuria ympäristövaikutuksia. Jotta pystyttäisiin arvioimaan eri tuotteiden suuruusluokkia ja niihin liittyvien ympäristövaikutusten ns. hotspoteja, on hyvä ymmärtää myös tuotekohtaisia kokonaisvirtoja.

Jos yksittäisen tuotteen sisältämät materiaalit kerrotaan laitteiden kysynnällä Suomessa, pystytään arvioimaan tarkemmin kunkin tuotteen aiheuttamaa kokonaismateriaalivirtaa Suomessa. Suomen päätelaitteiden kysyntää vastaavat materiaalivirrat pystytään laskemaan ao. kaavan mukaisesti:

$$m_{mat,i} = s_{dev,xy} \times I_{mat,i,dev,xy}$$

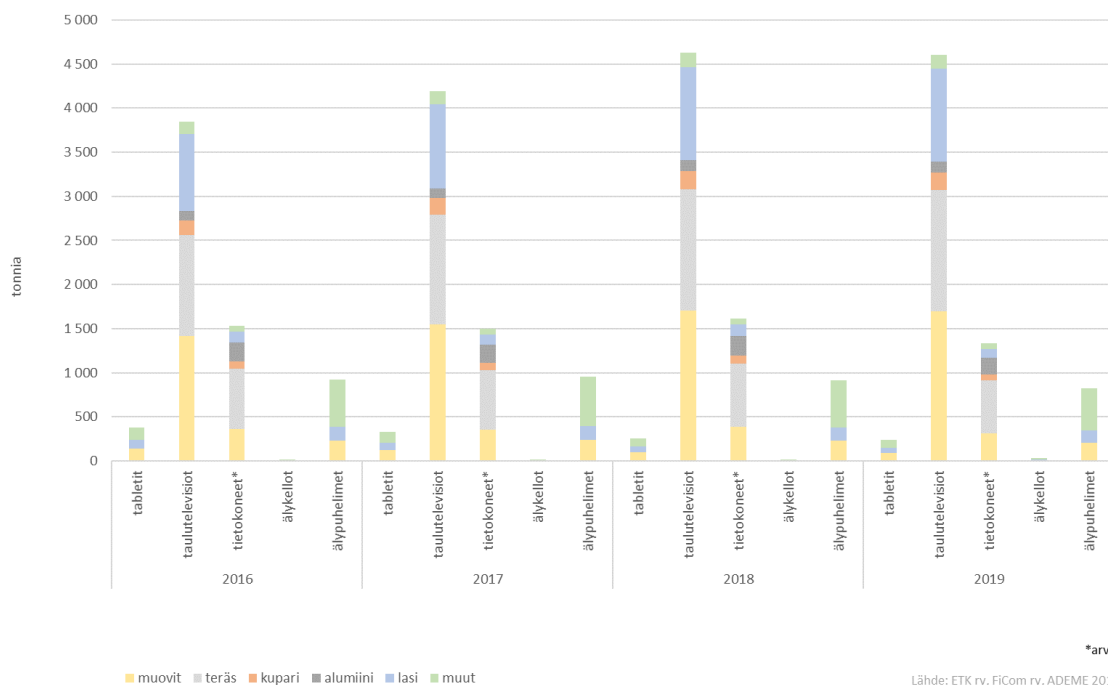
jossa $m_{mat,i}$ on tietyn materiaalin (i) kokonaistarve vuoden (y) aikana, i , $s_{dev,i}$ on tietyn laitteen (x) kokonaismyynti kappaleissa Suomessa vuoden (y) aikana ja d $I_{mat,i,dev,xy}$ on laitteen (x) materiaaltarve materiaalin (i) osalta.

Kuva 15 esittää arvion Suomessa käytössä olevien päätelaitteiden materiaalisäilöistä päätelaitteittain. Arvio on laskettu kertomalla ADEME-raportin (2018) mukaiset eri päätelaitteiden materiaalisäilöt käytössä olevien päätelaitteiden määrillä (luvusta 2). Kuva havainnollistaa kappalemäärien ja materiaalivirtojen erot; vaikka kappalemäärissä mitattuna älypuhelimia on tässä tarkastelussa selvästi taulutelevisioita enemmän, on televisioiden materiaaltarve silti noin kymmenkertainen.



Kuva 15 Suomessa käytössä olevien päätelaitteiden suurimmat materiaalivirrat. Materiaalikoostumus perustuu ADEME-raporttiin (ADEME, 2018).

Kuva 16 on Suomessa vuosien 2016–19 aikana myytyjen laitteiden sisältämät materiaalit painossa mitattuna. Kehitys vuosien välillä pitää sisällään kysynnän muutoksen, ei tuotteiden ja niiden sisältämän materiaalarpeen kehitystä. Suurimmat materiaalivirrat painon mukaan ovat muovit, kupari, lasi, alumiini ja teräs.



Kuva 16 Arvioidut materiaalivirrat Suomessa kuluttajille myydyistä päätelaitteista. Materiaali-koostumus perustuu ADEME-raporttiin (ADEME, 2018)

3.3 Yksittäiset raaka-aineet tai raaka-aineryhmät

Päätelaitteet sisältävät muutamia yksittäisiä raaka-aineita tai raaka-aineryhmiä, joiden käyttöön liitetään riskejä tai erityisiä vastuullisuusnäkökulmia.

3.3.1 Kriittiset raaka-aineet

Päätelaitteiden metalleista useat ovat ns. kriittisiä raaka-aineita. Näillä tarkoitetaan niitä raaka-aineita, joihin liittyy suuri hankintariski, suuri taloudellinen merkitys ja joiden luotettava ja esteetön saatavuus aiheuttaa huolta Euroopan teollisuudelle ja arvo-ketjuille (Euroopan komissio, 2017a). EU:n kannalta kriittisten raaka-aineiden luetteloon määrittely on keskeinen osa tätä aloitetta. Kriittisten raaka-aineiden riskejä pienentääkseen käytössä on hyvin rajallisia mahdollisuuksia kasvattaa metallien tuotantoa Euroopan sisällä, mutta parempia mahdollisuuksia kasvattaa näiden metallien kierrätysasteita. Kriittisten metallien tapauksessa on huomionarvoista se, että Suomella on kahdessa metallissa (koboltti ja germanium) tuottaja/toimittaja rooli (Taulukko 6).

Taulukko 6 Kriittisiä raaka-aineita elektroniikassa (Lähde: EC, 2017)

Raaka-aine	Tärkeimmät tuottajat maailmassa	Tärkeimmät viejät EU:hun	EU:n toimittajat	Tuontiriippuvuusaste*	Käytöstäpoiston yhteydessä tapahtuvan kierrätyksen osuus**
Antimoni	Kiina (87 %)	Kiina (90 %)	Kiina (90 %)	100 %	28 %
Koboltti	Kongon demokraattinen tasavalta (64 %)	Venäjä (91 %)	Suomi (66 %)	32 %	0 %
Gallium	Kiina (85 %)	Kiina (53 %)	Kiina (36 %)	34 %	0 %
Germanium	Kiina (67 %) Suomi (11 %)	Kiina (60 %)	Kiina (43 %) Suomi (28 %)	64 %	2 %
Indium	Kiina (57 %)	Kiina (41 %)	Kiina (28 %)	0 %	0 %
Luonnongrafiitti	Kiina (69 %)	Kiina (63 %)	Kiina (63 %)	99 %	3 %
Tantaali	Ruanda (31 %)	Nigeria (81 %)	Nigeria (81 %)	100 %	1 %
Platinaryhmän metallit	Etelä-Afrikka (83 %)	Sveitsi (34 %)	Sveitsi (34 %)	99,6 %	14 %
Harvinaiset maametallit	Kiina (95 %)	Kiina (40 %)	Kiina (40 %)	100 %	3-8 %

* Tuontiriippuvuusasteella* otetaan hankintariskiä laskettaessa huomioon globaali tarjonta ja EU:n todelliset hankinnat. Se lasketaan seuraavasti: EU:n nettotuonti / (EU:n nettotuonti + EU:n kotimarkkinatuotanto).

** Käytöstäpoiston yhteydessä tapahtuvan kierrätyksen osuus" mittaa tietyn raaka-aineen romukierrätyksen suhdetta EU:n kysyntään, joka vastaa primaari- ja sekundaariaineen toimituksia EU:hun

Kriittisten metallien osalta erityisen mielenkiintoinen (tai ongelmallinen) on koboltti. Sitä käytetään nykyisin erityisesti litiumioniakkuihin, joita on lähes kaikessa pienielektroniikassa; >90 % koboltista menee Li-Ion akkujen valmistukseen (Dias et al., 2018). Koboltin tuotanto on hyvin riippuvainen Kongon demokraattisesta tasavallasta. Kongon koboltintuotannon eettiset ongelmat liittyvät ennen kaikkea lapsityövoiman käyttöön tai lapsikuolemiin, muun pakotetun työvoiman hyödyntämiseen ja työskentelyolosuhteiden vaarallisuuteen ja korruptioon (esim. Amnesty International, 2016; The Guardian, 2019). Vaikka suuret yritykset vakuuttavat hankkivansa raaka-aineensa vastuullisista lähteistä, tai jopa lopettavansa koboltin ostamisen Kongosta (Electrive.com, 2019), on koboltin tuotantoketjuja yhä vielä hyvin vaikea jäljittää.

3.3.2 Konfliktimineraalit

Konfliktimineraaleilla tarkoitetaan sellaisten mineraalien hankintaa, joista saatavat varat saattavat kulkeutua konfliktien rahoittamiseen (EU, 2017). Näitä ovat Kongosta hankittavat tina, tantaali, volframi ja kulta sekä niiden johdannaiset. Konfliktialueilla tuotettavia mineraaleja käytetään paljon juuri elektroniikkatuotteissa. Vaikka mineraalivaroihin liittyy suuria kehittymismahdollisuuksia, voivat ne olla kiistanaihe konfliktialueilla tai korkean riskin alueilla. Tämä riski korostuu, jos niistä saatavia tuloja käytetään ruokkimaan väkivaltaisen konfliktin puhkeamista tai jatkumista ja vaikeutetaan näin kehitystä, hyvää hallintotapaa ja oikeusvaltiota koskevia pyrkimyksiä. Näillä alueilla

konfliktien ja mineraalien laittoman hyödyntämisen välisen yhteyden katkaiseminen on tärkeä tekijä rauhan ja vakauden takaamisessa. (EU, 2017) Konfliktimineraalien hyödyntäminen ei siis suoranaisesti liity materiaalien ympäristövaikutuksiin, vaan sosiaaliin vaikutuksiin ja erityisesti aseellisten konfliktien mahdollistamiseen. Ihmisoikeusloukkaukset ovat yleisiä konfliktialueilla ja korkean riskin alueilla, joilla on runsaasti luonnonvaroja, ja näihin loukkauksiin saattaa kuulua lapsityövoiman käyttöä, seksuaalista väkivaltaa, ihmisten katoamisia, pakkosiirtoja ja rituaalisesti tai kulttuurisesti merkittävien paikkojen tuhoamista.

Euroopassa laadittu Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2017/821 vuodelta 2017 (EU, 2017) liittyy niihin EU:n toimijoihin, jotka tuovat konfliktialueilta ja korkean riskin alueilta tinaa, tantaalia ja volframia, niiden malmeja sekä kultaa. Asetuksen tarkoitus on parantaa läpinäkyvyyttä ja toimitusvarmuutta niiden sulattojen, jalostajien tai muiden toimijoiden osalta, jotka tuovat kyseisiä mineraaleja ja metalleja konfliktialueilta EU:iin. Näiden toimijoiden tulisi perustaa hallintojärjestelmä, arvioida konfliktimineraaleihin liittyvät riskit, suunnitella riskien hallintaa, sekä teettää kolmannella osapuolella tarkastus, joka liittyy konfliktialueilta tuotaviin mineraaleihin ja raportoida kaikki nämä asiat julkisesti. Tämän tulisi taata uskottavuus toimitusketjun loppupäässä olevien talouden toimijoiden hyödyksi ja myötävaikuttaa due diligence -käytäntöjen (eli ketjuun liittyvien riskien ja vastuiden huolellisuustarkastuksen)⁵ tehostamiseen toimitusketjun alkupäässä. Sulatot ja jalostajat ovat tärkeä vaihe globaaleissa mineraalien toimitusketjuissa, koska ne ovat tyypillisesti viimeinen vaihe, jossa due diligence voidaan tosiasiallisesti varmistaa keräämällä, paljastamalla ja todentamalla tiedot mineraalien alkuperästä ja alkuperäketjusta. Tämän jalostusvaiheen jälkeen mineraalien alkuperää on usein mahdotonta jäljittää. Sama koskee myös kierrätettyjä metalleja, jotka ovat käyneet läpi vielä useampia vaiheita jalostusprosessissa. Suomessa Tukes valvoo konfliktimineraalien maahantuontiin liittyviä velvollisuuksia. Ensimmäiset tarkastukset tulevat ajankohtaiseksi vuonna 2022. (Tukes, 2020a)

3.3.3 Haitalliset aineet

Sähkö- ja elektroniikkalaitteet sisältävät yhdisteitä, jotka ovat ympäristölle ja ihmisille haitallisia. Näitä ovat mm. PCB-yhdisteet (polyklooratut bifenyylit), bromipitoiset palonestoaineet ja PVC-yhdisteet (polyvinyylikloridi), raskasmetallit, antistaattiset aineet tai muovin pehmennysaineet. Näitä aineita löytyy mm. johtimien kuorissa, elektroniikkalaitteiden suojakuorissa ja koteloissa (bromi) sekä piirilevyissä. (Worrell, 2014)

⁵ Due diligence-työhön liittyviä ohjeistuksia: <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/tervetuloa-ddraan/>

Altistuminen haitallisille aineille on vähäistä, olettaen, että laitetta käytetään tavalla, jolla se on tarkoitettu käytettäväksi. Jotta riskiä pystyttäisiin tästä vielä pienentämään, on haitallisista aineista laadittu sähkö- ja elektroniikkalaitteita varten ns. RoHS (Restriction of Hazardous Substances)-direktiivi 2011/65/EU (EU, 2011). Lainsäädännön tarkoituksena on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä sekä vähentää jätteiden haitallisuutta. SCIP (Substances of Concern In articles as such or in complex objects) on jättepuitedirektiivin 2008/98/EY nojalla perustettu tietokanta, johon kerätään tietoja esineissä tai moniosaisissa tuotteissa olevista erityistä huolta aiheuttavista aineista. Sen on tarkoitus varmistaa, että tietoa kandidaattilistassa olevista erityistä huolta aiheuttavista aineista on saatavana tuotteiden ja materiaalien koko elinkaaren, myös jätteen käsittelyn, ajan. Kemikaalilakien avulla pyritään rajoittamaan vaarallisten kemikaalien käyttöä elektroniikassa tai luopumaan siitä, jos kemikaaleille on olemassa turvallisempia vaihtoehtoja. Yrityksiä lisäksi rohkaistaan korvaamaan vaaralliset kemikaalit turvallisemmilla vaihtoehdoilla, mutta niille voidaan myös myöntää poikkeuksia ja lupia käyttää tiettyjä vaarallisia kemikaaleja elektroniikassa, tavallisesti rajoitetun ajan. Kaikki sähkö- ja elektroniikkalaitteet kuuluvat RoHSin soveltamisalueeseen. Sähkö- ja elektroniikkalaitteissa on rajoitettu tiettyjen metallien, muovien pehmentimien ja palonestoaineiden käyttöä. Rajoitukset koskevat seuraavien aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa, niiden liitäntäjohtoissa ja varaosissa: kadmium, lyijy, elohopea, kuudenarvoinen kromi, polybromatut bifenyylit, polybromatut difenyylieetterit, bis(2-etyyliheksyyli)ftalaatti, butyylibentsyyliftalaatti, dibutyyliftalaatti, di-isobutyyliftalaatti. Sallitut enimmäispitoisuudet ovat 0,01p-% kadmiumille ja kaikille muille aineille 0,1 p-%.

Haitallisia aineita käytetään päätelaitteissa mm. seuraavissa tarkoituksissa (Tukes, 2020b):

- Kadmiumia käytetään ladattavissa tietokoneen akuissa, liittimissä ja kytkimissä.
- Elohopeaa käytetään matkapuhelinten ja litteänäyttötietokoneiden nestekidenäyttöissä (LCD) sekä kytkimissä, akuissa ja loistelampuissa.
- Lyijyä käytetään tietokoneiden ja televisioiden näyttöjen sisältämissä kato-disädeputkissa (CRT).
- Kuudenarvoista kromia käytetään erilaisten metallikoteloiden valmistuksessa.
- Nikkeliä käytetään joidenkin matkapuhelinten piirikorteissa ja juotoksissa.

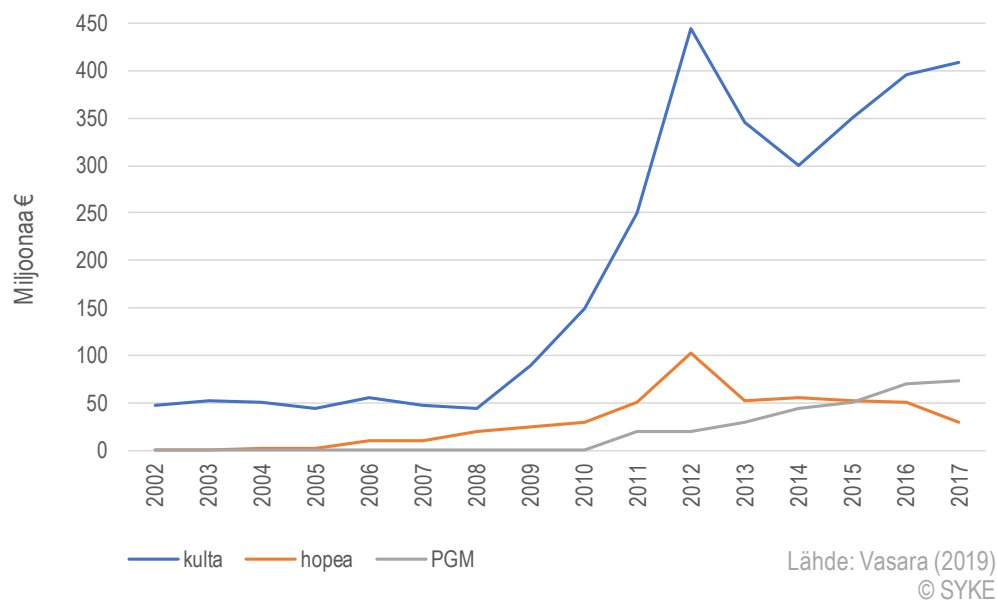
- Lyijyä ja kadmiumia käytetään ladattavissa pelikonsolien ja sähkölelujen akuissa.
- Palonestoaineet voivat siirtyä elektroniikkalaitteista talossa olevaan pölyyn. Uusista elektroniikkalaitteista voi myös vapautua palonestoaineita laitteiden kuumentuessa.

3.4 Suomen primääriraaka-ainevarannot ja niiden hyödyntäminen

Suomessa on muihin EU-maihin verrattuna kohtuullisen hyvä tilanne primääriraaka-ainevarantojen suhteen. Suomessa toimi vuonna 2017 yhdeksän metallimalmikaivosta ja 27 teollisuusmineraalikaivosta. Metallimalmeja louhitaan tällä hetkellä enemmän kuin Suomen kaivoshistoriassa on aiemmin louhittu. (Vasara, 2018) Suomessa on eurooppalaisittain poikkeuksellisen paljon nimenomaan akkumetallien malmiesiintymiä. Nikkeliä ja kobolttia louhitaan jo tällä hetkellä, ja lisäksi muutamia esiintymiä on kehitysvaiheessa. Malmien lisäksi Suomessa on näiden metallien jalostusta ja tulevaisuudessa myös ns. akkukemikaalien (nikkeli- ja kobolttisulfaatin) valmistusta sekä prekursori- ja katodiaktiivimateriaalitehtaita.

Raaka-aineiden esiintymispotentiaalia Suomen kallioperässä on tutkittu GTK:n toimesta esimerkiksi harvinaisten maametallien, grafiitin, titaanin ja litiumin osalta (Sara-pää ym, 2015). GTK:n arvioiden mukaan mukaan useiden kriittisten metallien ja mineraalien (Be, Cr, Co, grafiitti, PGM, P, Li, magnesiitti, Nb, REE, Sb, Si, Ta, Ti ja W) tuotantopotentiaalit ovat Suomessa varsin hyviä. Litiumin osalta EU:n suurimmat esiintymät ovat Suomessa.

Elektroniikan tuottamiseen tarvitaan suhteellisen paljon jalometalleja (esim. kultaa, hopeaa, platinaryhmän metalleja). Näiden vienti Suomesta on kasvanut viimeisten 15 vuoden aikana euroissa mitattuna 40-900 % (Kuva 17). Lisäksi kasvavan sähköistymisen myötä herättävät akkumineraalit tällä hetkellä paljon kiinnostusta. Kiinnostus näkyy varsinkin koboltin ja litiumin malminetsintälupahakemusten määrän kasvuna.



Kuva 17 Jalometallien vienti Suomesta (Vasara, 2019)

Koboltin osalta tilanne on erityisen mielenkiintoinen Suomessa ja asia linkittyy myös vahvasti eettisiin ongelmiin muualla maailmassa. EU:n koboltin toimituksista 66 % tulee Suomesta ja maailman koboltista jalostetaan 13 % Suomessa. Silti Suomi ja EU ovat suurelta osin riippuvaisia Kongon demokraattisesta tasavallasta tuodusta raaka-aineesta, jossa maailman koboltista louhitaan 64 % (jatkossa osin suomalaisellakin teknologialla). Lisäksi Suomeen tuodaan koboltirikastetta Venäjältä, Itävaltasta, Etelä-Afrikasta ja Saksasta, omien kaivostemme lisäksi. Suomessa on koboltia maaperässä, joten käynnissä olevia kaivosprojekteja on useita ja tällä hetkellä koboltia tuotetaan Talvivaaran, Kevitsan, Hituran ja Kylylahden kaivoksilla. Metallimalmien louhinnasta ja esimerkiksi suunnitteilla olevista kaivoksista tai kaivosprojekteista saa tietoa mm. GTK:lta (2020).

4 Päätelaitteiden kierrätys

Sähkö- ja elektroniikkalaiteromun (SER) määrän arvioidaan olevan yksi nopeimmin kasvavista jätevirroista; oletettu kasvu vuosittain on noin 2-6,5 % (EC, 2020; Sullivan, 2018; Bourguignon, 2018; Tanskanen, 2013; UNEP, 2013; Cayumil, 2015). Maailmassa syntyi vuonna 2018 noin 50 miljoonaa tonnia elektroniikkajätettä ja puolet tästä jätteestä on ollut kulutushyödykkeitä kuten tietokoneita, näyttöjä, älypuhelimia, tabletteja tai televisioita (lopun ovat muita suurempia kotitalouslaitteita). 20-35 % elektroniikkajätteestä maailmassa kerätään ja kierrätetään tehokkaasti (WEF, 2019; EU, 2019). Tuotteiden kysynnän lisäksi jätevirtojen kasvuun vaikuttavat myös elektronisten laitteiden yhä lyhyemmät elinkaaret (Tanskanen, 2013). Toisaalta, SER on metallisisällöltään yksi arvokkaimmista jätevirroista; perusmetallien lisäksi SER sisältää arvo- ja kriittisiä metalleja, kuten kultaa, hopeaa, platinaryhmän metalleja ja harvinaisia maametalleja (luku 3).

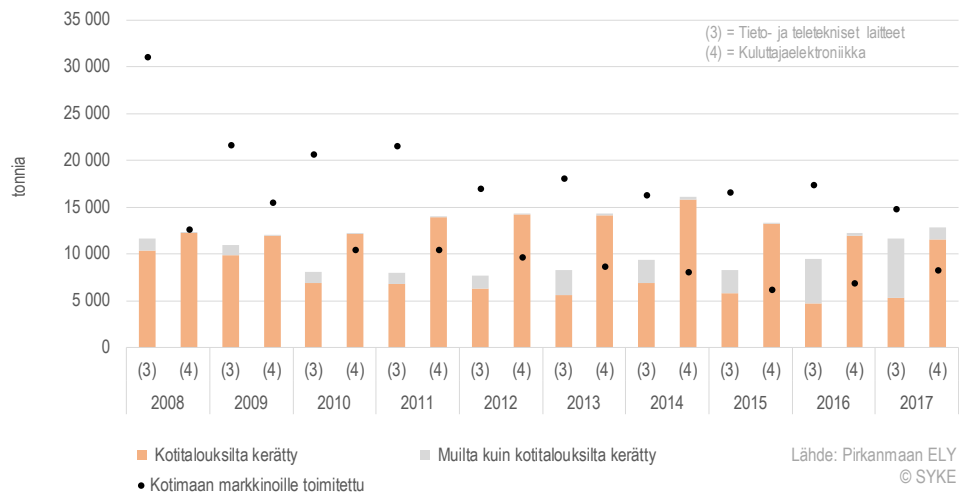
Tehokas SER-kierrätys pienentää neitseellisten raaka-aineiden kysyntää ja näin ollen vähentää raaka-aineiden tuotantoon liittyviä ilmasto-, vesi- ja muita ympäristövaikutuksia. Kierrätettyjen metallien CO₂e-päästöt ovat yleensä selvästi pienempiä kuin neitseellisistä raaka-aineista tuotettujen metallien (riippuen metallista, 50-90 % pienempi materiaalin hiilijalanjälki). Lisäksi neitseellisten raaka-aineiden prosessointiin liittyvien päästöjen odotetaan tulevaisuudessa kasvavan entisestään malmivarantojen köyhtyessä. Ympäristöjalanjäljen pienentämisen lisäksi kierrätys ylläpitää kierrätysmateriaalien arvon, vähentää EU:n riippuvuutta tuontimateriaaleista, ennen kaikkea kriittisten materiaalien osalta, vähentää materiaalien niukkuutta yleisesti sekä välttää joihinkin metalleihin liittyviä sosiaalisia ulkoisvaikutuksia. EU pyrkii jatkuvasti lisäämään kierrätysvolyymeja ja kierrätetyn materiaalin osuutta kokonaismateriaalikäytöstä sekä tehostamaan kierrätysprosesseja (esim. WEEE-direktiivi). EU:n mukaan yksi esteistä on ollut kuluttajien tiedon puute, minkä takia SERin kierrätystä ei ole saatu laajamittaisemmin toimimaan (EU, 2019).

4.1 Kierrätetyt volyymit

SER-volyymeja Suomessa seuraa valtakunnallinen tuottajavastuun valvontaviranomainen, eli Pirkanmaan ELY-keskus (Pir-ELY). Käytössä ei silti ole kovin hienoja koista tietoa siitä, mitkä eri kategoriat kuluttajaelektronikassa ovat suurimpia volyymeiltaan. Tämän raportin keskipisteenä ovat Pir-ELY:ltä kerätyt kaksi eri SER-kategoriaa; Tieto- ja teletekniset laitteet (3) sekä Kuluttajaelektronikka (4). Kategoria Tieto- ja teletekniset laitteet (3) sisältää elektroniikan, joissa on sisäänrakennettu muisti,

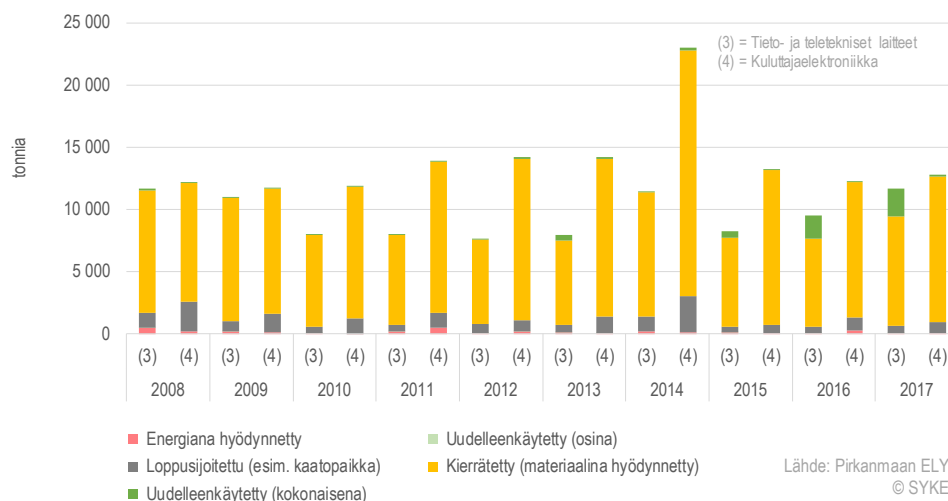
(älypuhelimet, matkapuhelimet, tabletit, tietokoneet, jne). Kuluttajaelektroniikka sisältää esimerkiksi televisiolaitteet (äly- ja normaalit televisiot), mutta myös radiot, kuulokkeet jne.

Pir-ELY:n tilaston (Kuva 18) mukaan kotitalouksilta ja muilta kuin kotitalouksilta kerätyn tieto- ja teleteknisten laitteiden määrä on ollut 10 000 tonnin suuruusluokkaa seurantajakson aikana. Muilta kuin kotitalouksilta kerätyn romun määrä on kasvanut selvästi suhteessa kotitalouksilta kerättyyn. Kotimaan markkinoille toimitetun elektroniikan määrä on laskenut seurantajakson aikana, mutta kerätyn romun määrä on pysynyt alle toimitetun elektroniikan määrän. Kuluttajaelektroniikan puolella määrä nousee vuosien 2009 jälkeen yli sen määrän, mitä kotimaan markkinoille on toimitettu.



Kuva 18 Suomen SERin keräyksen lähteet (Lähde: Pir-ELY)

Suurin osuus SER-käsittelystä on materiaalien kierrätystä; keskimääräisesti vuosien 2008–17 aikana 88 % tuotteista on mennyt materiaalien kierrätykseen, noin 1 % on hyödynnetty energiana ja 10 % viety kaatopaikalle. Uudelleenkäytön (joko kokonaisena tai osina) osuus on marginaalinen (<1 %) (Kuva 19). EU:n jätehierarkian mukaan tämä ei ole toivottavin tilanne uudelleenkäytön pienen osuuden vuoksi.



Kuva 19 Suomen SER-käsittely (Lähde: Pir-ELY)

Suurin osa kierrätysjakeista käsitellään Suomessa ja pienempi osa EU:ssa. Osa kierrätysmateriaalista viedään jalostettavaksi myös Ruotsiin ja Viroon. EU:n ulkopuolelle ei käytännössä ole vuoden 2008 jälkeen viety kierrätettävää kuluttajaelektroniikkaa.

Vaikka Suomessa tai EU:ssa olevia sekundaarimateriaalien varantoja on hankala arvioida, on ORAMA-hankkeen (orama-h2020.eu) turvin kartoitettu muutamien pienlaitteiden sekundäärivarantoja Euroopan maissa (urbanmineplatform.eu). Suomen varannot esimerkiksi piirilevyjen osalta edustavat noin sadasosaa koko Euroopan varannoista.

4.2 Kierrätysasteet

ICT-laitteissa käytettyjen metallien kierrätysasteet ovat matalammat, kuin mitä niiden kestävä käyttö vaatisi. Käyttö näin nopeasti kasvavalla kysynnällä ei voisi edes olla kestävä, mutta tehokkaampi kierrätys parantaisi tilannetta. Älylaitteiden kasvava kysyntä ja tarjonta vaatii kasvavia määriä harvinaisempia ja kriittisiä metalleja ja yksi tapa kattaa kysynnän kasvua on mahdollistaa kierrätys erityisesti näiden harvinaisten, arvo- ja kriittisten metallien osalta. EU:ssa kierrätetään arvioiden mukaan alle 40 % elektroniikkajätteestä. Suomessa SERin kierrätysaste on tätä korkeampi (48 %), ollen EU:n 9:ksi tehokkain SER-kierrättäjä. (Eurostat, 2020)

Käytettyjen laitteiden harvinaisista maametalleista vain 1 % kierrätetään ja ylipäänsä noin 35 metallilla on alle 1 %:n kierrätysaste (Taulukko 7). Näitä lukuja arvioitaessa on muistettava, että tarkkojen kierrätysasteiden määrittäminen on hankalaa. Tämä johtuu

siitä, että metalliketjut ovat globaaleja, ja raaka-aineita, rikasteita, puolivalmisteita, tuotteita sekä kierrätysjakeita siirrellään maista ja maanosista toisiin nopealla syklillä.

Taulukko 7 Eri alkuaineiden kierrätysasteet (UNEP, 2011)

Kierrätysaste	Alkuaineet, joille kierrätysprosentti arvioitu
> 50 %	Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Nb, Rh, Pd, Ag, Sn, Re, Pt, Au, Pb
> 25-50 %	Mg, Mo, Ir
> 10-25 %	Ru, Cd, W
> 1-10 %	Sb, Hg
< 1 %	Li, Be, B, Sc, V, Ga, Ge, As, Se, Sr, Y, Zr, In, Te, Ba, Hf, Ta, Os, Tl, Bi, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu

Kotitalous- ja elektronisten laitteiden kierrätysasteet ovat olleet pieniä verrattuna rakennuksissa, autoissa tai suuremmissa laitteissa käytettyihin metalleihin (85-90 %). Kuitenkin on arvioitu, että juuri pienlaitteissa kierrätysasteet nousevat suhteessa eniten tulevaisuudessa. Kierrätyksen haasteellisuutta kasvattaa se, että näiden tuotteiden elinkaaret ovat lyhyitä. (UNEP, 2013) Kierrätystoimijoiden osalta innokkuutta vähentää myös kierrätettävien laitteiden pieni koko ja niiden sisältämien arvometallien pienet massat; jos yhden laitteen sisältämien raaka-aineiden arvot ovat 1-2 € välillä, tarvitaan kierrätystoiminnan kannattavuuden takaamiseksi tasainen ja suuri virta SE-riä.

4.3 Kierrätyksen tekninen toteutus

Jotta pystytään arvioimaan kierrätyksen mielekkyyttä, laite- tai metallikohtaisten kierrätysasteiden asettamista tai koko prosessin ympäristövaikutuksia, on tärkeää ymmärtää kierrätysprosessi kokonaisuutena. Kierrätysprosessi ei ole teknologia, joka toimii samalla tehokkuudella riippumatta muista tekijöistä, vaan prosessi määritellään tapauskohtaisesti. Näin ollen tulisi sen tehokkuus, talteenotto ja ympäristövaikutukset laskea tapauskohtaisesti, sillä eri ratkaisuilla on erityyppiset tekniset, metallurgiset ja ympäristölliset hyödyt ja haitat. Mitä kompleksisempi ja monimateriaalisempi tuote on, sitä enemmän resursseja joudutaan kierrätykseen käyttämään ja sitä enemmän metalleja prosessin aikana hävitään (jollei kyseessä ole kierrätystä varten suunniteltu, modulaarinen tuote).

ICT-laitteiden sisältämien metallien kierrätysprosessi kolmeen eri päävaiheeseen: 1) lajittelu ja keräys; 2) mekaaniset esikäsittely- ja erottelumenetelmät; 3) metallurginen jatkojalostus, eli arvokkaiden materiaalien talteenotto. Jokaiseen vaiheista liittyy kriittinen kysymys, jonka vastaus vaikuttaa kierrätyksen tehokkuuden varmistamiseen: a) saadaanko keräys hoidettua logistisesti järkevästi; b) pystytäänkö esikäsittely hoitamaan tehokkaasti hyvin erilaisilla laitekokoonpanoilla; c) valitaanko oikea kierrätysprosessi kyseisille syötteille ja halutulle talteenotolle.

1) Lajittelu ja keräys

Kuluttajan lajittelu: Kuluttajan SERin erottelu muista jätteistä vaikuttaa koko kierrätyksen tehokkuuteen ja arvometallien talteenottoon. Viiveitä aiheutuu sen välillä, kun laite menettää käyttöarvonsa ja se toimitetaan kierrätystoiminnan piiriin (UNEP, 2013). Suomessa kuluttajien tietoisuus kierrätyksestä on hyvällä tasolla, mutta esim. Hagelūken ym. (2009) ovat arvioineet, että kierrätysvolyymeja voitaisiin kasvattaa 40 %:lla, jos kuluttajat toisivat laitteensa paremmin kiertoon.

Keräys: SERin keräys hoidetaan kunnallisten tai kaupallisten toimijoiden kautta. EU:n tuottajavastuun mukaisesti käytöstä poistetut laitteet voidaan palauttaa niiden myyjille. Globaalisti, SERin keräys on tehotonta, tai virrat ohjataan harmaille markkinoille (epämuodollisille⁶ tai laittomille kierrätystoimijoille); tai kaatopaikoille (UNEP, 2013).

2) Mekaaniset esikäsittely- ja erottelumenetelmät

Esikäsittelyn ja erottelun on tarkoitus muodostaa sopivia (hyvälaatuisia) jakeita jatkojalostukseen. Erotteluprosessin tehokkuuteen vaikuttaa mm. materiaalien viskositeetti, kiintoainepitoisuus, turbulenssi, pyörrevirtaus, partikkelien muoto tai varaus, nesteen pH ja muut partikkelien ominaisuudet (tiheys, johtokyky, magneettisuus). (Reuter, 2015; UNEP, 2013).

⁶ Joissain kehittyvissä maissa keräys on järjestäytymätön ja epäformaali. Keräyksen hoitavat yksittäiset jätteiden keräilijät (waste pickers). Koko keräysketjun tehokkuutta tutkittaessa on huomattu, että epäformaalin systeemin saanti on parempi (20 %) kuin formaalin keräyssysteemin, kuten esimerkiksi EU:ssa (15 %), johtuen osittain kattavammasta keräyksestä (kerääjillä on taloudellinen motivaatio) sekä esiprosessoinnin tarkkuudesta (halvan työvoiman maissa tämä hoidetaan pääosin käsin). Kuitenkin jatkoprosessin kannalta formaali kierrätysjärjestelmä esim. integroituneilla pyro-/hydroprosesseilla ja 95 % saannillaan voittaa epäformaalit pienen mittakaavan jalostusratkaisut (UNEP, 2013).

Manuaalinen lajittelu ja purku: Kierrätysoperaattori lajittelee/purkaa laitteita käsin, erotellen mm. haitallisia aineita, piirikortteja, akkuja, LCD-näyttöjä. Käsinalajittelua hyödynnetään moderneissakin kierrätyslaitoksissa, sillä se tehostaa jatkoprosessointia.

Murskaus ja hienonnus: Lajiteltu ja purettu materiaali murskataan ja hienonnetaan. Murskaus kuluttaa paljon energiaa, joten liian pieneksi murskaaminen ei kannata. Lisäksi se tuottaa pölyä, joka taas aiheuttaa lisähäviöitä prosessista. Murskauksen ja hienonnuksen avulla saadaan harvoin kaikkia kierrätettäviä metalleja irrotettua toisistaan, mikä myös osittain aiheuttaa häviöitä.

Erottelu: Hienonnetussa kierrätysmateriaalissa on kymmeniä metalleja ja materiaaleja eri muodoissa. Jakeet erotellaan ja ohjataan oikeaan jatkoprosessiin. Ne voidaan erotella joko magneetti-, painovoima- tai sensoripohjaisen erottelun avulla.

Pölynpoisto: Koska pölyissä voi olla painoonsa nähden paljonkin arvometalleja, pyritään nämä ottamaan talteen (Marra, 2015), esim. sykloneilla, vastavirtaerottimilla tai imureilla.

Seulonta: Seulontaa voidaan käyttää eri vaiheissa, esimerkiksi erottelemassa ylisuuria kappaleita pois tai muuten homogenisoimassa kappalekokoja.

3) Metallurginen jatkojalostus eli arvokkaiden metallien jatkojalostus

Mahdollisimman puhtaat jakeet syötetään jatkokäsittelyprosessiin (mitä tarkempi esikäsittely, sen helpompi jatkoprosessointi on ja korkeampi kokonaissaanti). Puhtaimmat metallijakeet voidaan sulattaa ja myydä eteenpäin. Epäpuhtaat jakeet tulee kuitenkin jatkokäsitellä pyrometallurgisesti tai hydro- ja elektrometallurgisesti tai näiden yhdistelmillä.

Pyrometallurgia on yleisin tapa jalometallien talteenottamiseksi SERistä. Pyrometallurginen käsittely käyttää korkeita lämpötiloja ja kemiallisia reaktioita, joiden avulla metallit jalostuvat puhtaammiksi. Pyrometallurgian avulla voidaan kierrättää jalometallien lisäksi perusmetalleja, kuten kuparia, lyijyä ja sinkkiä. Pyrometallurgisen käsittelyn vaihteita ovat poltto, sulatus valokaariuunissa ja käsittely masuunissa tai kuparin sulatusuunissa. Muoveja tai muita helposti syttyviä materiaaleja voidaan käyttää syötemateriaalina, jolloin energiakustannuksia saadaan pienennettyä (Khaliq, 2014). Prosessi ei ole kovin selektiivinen, varsinkaan jos kierrätettävillä metalleilla on samankaltaiset termodynaamiset ominaisuudet.

Hydrometallurgialla metallit kierrätetään nesteessä matalassa lämpötilassa, jossa metallit liuotetaan puhtaampaan muotoon. Prosessiparametrit riippuvat syötteestä.

Prosessi on selektiivisempi kuin pyrometallurgia ja hydrometallurgisen jatkokäsittelyn tavoitteena on hyödyntää kaikissa prosessivaiheissa syntyviä metallipitoisuuksiltaan köyhiä jakeita. Pyrometallurgian kuonia voidaan käsitellä hydrometallurgisesti (Chen, 2012).

Käytettävän teknologian valintaan vaikuttaa lähtöaineen laatu. Usein hyödynnetään hydro- ja pyrometallurgian yhdistelmiä; ensin erotellaan pyrometallurgisesti suurimmat massat toisistaan, jonka jälkeen hydrometallurgian avulla saadaan metallit prosessoitua vielä puhtaampaan muotoon.

Valitun prosessin ympäristövaikutuksia pystytään simuloimaan melko tarkasti jo suunnitteluvaiheessa, kun tiedetään syöte ja kapasiteetti (esim. Reuter ym., 2019). Kierrätysteknologiapäätöksen tulisi perustua ex ante -arvioon koko prosessin tehokkuudesta ja ympäristövaikutuksista. Esimerkiksi pyro- ja hydrometallurgian energiatehokkuus ei ole aina suoraviivainen; liekkisulatto on energiatehokas vaihtoehto, mutta muut pyrometallurgiset teknologiat vaativat suurempia energiapanoksia päästäkseen korkeisiin lämpötiloihin. Tietyt hydrometallurgiset menetelmät vaativat myös paljon energiaa, vettä tai kemikaaleja.

4.4 Eri ICT-laitteiden tai komponenttien kierrätys

Eri päätelaitteet eivät muodosta tasalaatuista SER-virtaa, vaan laitteisiin ja jopa niiden komponentteihin liittyy erilaisia kierrätyksellisiä näkökulmia tai haasteita. Näitä laite- tai komponenttikohtaisia näkökulmia on käyty läpi taulukossa 8.

Taulukko 8 Päätelaitteiden tai komponenttien kierrätysnäkökulmat

Päätelaitte tai komponentti	Kierrätysnäkökulmat
Näytöt ja televisiot (CRT, LCD, LED)	Näyttöjen nopea teknologinen kehitys on esimerkki siitä, miten tuotantoteknologia vaikuttaa kierrätysvolyymeihin. CRT-näyttöjen kierrätys on tunnettua ja kannattavaa, eikä kierrätys aiheuta merkittäviä ympäristövaikutuksia. LCD- ja LED-näytöt ovat tuoneet uusia haasteita kierrätykseen. Esimerkiksi indiumin, galliumin, germaniumin ja muiden harvinaisten metallien kierrätystä voidaan parantaa (UNEP, 2013, Buchert ym., 2012) ja näyttöjen piirilevyissä myös esimerkiksi kullan, kuparin ja hopean. Lisäksi näissä käytetään SER-muoveja, joita voitaisiin kierrättää paremmin, jos pystytään ratkaisemaan esim. haitallisten aineiden ongelmat (Eskelinen ym, 2016). Tulevaisuudessa LED/LCD-näytöt ja -televisiot tulevat olemaan arvokkaimpia SER-jakeita älypuhelinien rinnalla (Cucchiella ym, 2015), mutta erityisesti LCD-monitorien elohopea tulee asettamaan haasteita (Noon et al. 2011).
Kannettavat ja tabletit	Kannettavat ja tabletit ovat olleet arvokkain SER-jätteen kategoria (Cucchiella ym, 2015), sillä näiden komponenteissa on suhteellisen suuria määriä arvometalleja. Tableteissa on suurempia osuuksia arvometalleja erityisesti näyttössä sekä piirilevyssä, johtuen kompaktista kokoonpanosta. Kierrätyksen kannalta hankaluus muodostuu silti juuri kompaktiudesta, eli miten saada arvometallit eroteltua toisistaan.
Piirilevyt	Piirilevyt sisältyvät moniin ICT-laitteisiin ja ovat massaltaan noin 3-6 % SERistä. Vaikka osuus on pieni, on suurin osa arvometalleista juuri näissä komponenteissa ja verrattuna primäärimetalleihin ovat pitoisuudet huomattavasti korkeampia (Cayumil, 2015). Nykyinen piirilevyjen kierrätysprosentti on matala kompleksisen materiaalisäilytönsä ja fyysisten ominaisuuksien takia. Näissä on tyypillisesti yli 20 eri metallia, jotka voivat olla bulkkimetalleja (kupari, alumiini, teräs), arvometalleja (kulta, hopea, platina), sekä haitallisia aineita (antimoni, arseeni, elohopea, lyijy). Näiden kierrätysprosessit ovat tyypillisesti hyvin energiantensiivisiä ja ympäristön kannalta riskialttiita, ja niiden avulla voidaan kierrättää vain noin 30-35 % piirilevyn sisältämistä metalleista. Tyypillisesti muut materiaalit hävitään.
Älypuhelimet	Älypuhelinien kierrätyksessä on haasteita saada vanhat puhelimet kierrätyksen piiriin. Iso osa vanhoista puhelimista jää pöytälaatikkoihin. Yksittäisen puhelimen sisältämä arvometallien osuus/arvo on pieni, minkä takia materiaalinkierrätyksen kannattavuuden ylläpitämiseksi tarvitaan suuria määriä laitteita.
Akut	Älypuhelinien sisältämät litium-ion -akut ovat hyvä kierrätyksen kohde ja Suomessa on kehitelty näille erityistä kierrätysmenetelmää. Kobolttin käyttäytymiseen litiumakkujen kierrätyksessä liittyy avoimia kysymyksiä. On suuri riski, että kobolttia päätyy ilmaan, kun akkuja puretaan ja murskataan kierrätyksen yhteydessä. Tähän todennäköisesti ECHA määrittelee tarkemmat kriteerit (kriittisetmateriaalit.fi).
SER-muovit	Yksi kehitettävä kohde on SER-muovien kierrätysmenetelmät. Vanhat laitteet sisältävät monenlaisia muoviyhdisteitä ja -laatuja eri vuosikymmeniltä, mikä tekee niiden erottelusta ja jatkojalostuksesta haastavaa. Hyvin lajiteltuna ja kierrätettynä SER-muovi voidaan kuitenkin käyttää uudelleen elektronisissa laitteissa. (serkierrätys.fi)

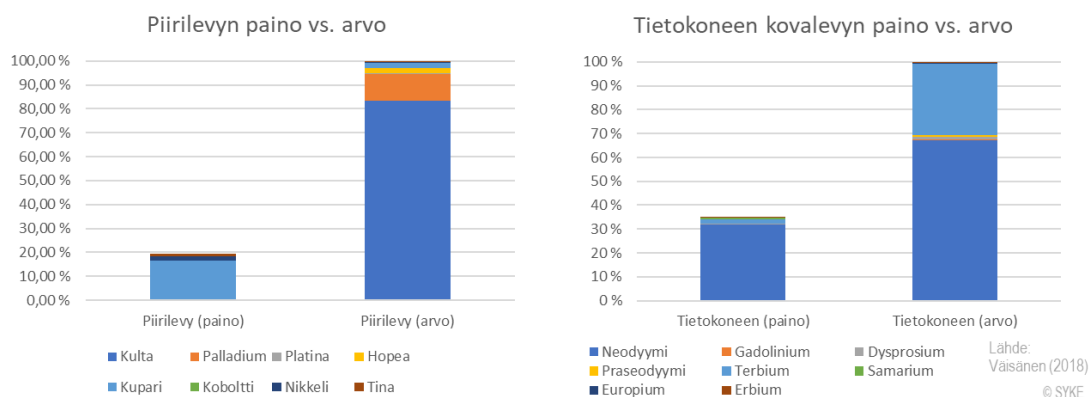
Kaikki virallisiin keräyspisteisiin tai kauppoihin tuodut laitteet käsitellään ensisijaisesti Suomessa. Tuottajayhteisöt tekevät yhteistyötä yhdeksän kotimaisen käsittelylaitoksen kanssa, samoin joidenkin kierrätyskeskusten sekä tukityöllistettyjen voimin toimivien toimintakeskusten kanssa. (serkierrätys.fi)

4.5 Kierrätykseen liittyvät ongelmat

Vaikka kierrätys vaikuttaa positiivisesti ICT-sektorin kestävyYTEEN, ei kierrätysmateriaalien tuotanto pysty vastaamaan jyrkästi kasvavaan tuotteiden kysyntään. Lisäksi elektronisten laitteiden kierrätystä tarkasteltaessa aliarvioidaan usein materiaalien keskinäiset liitokset tuotteissa (Cucchiella ym., 2015). Samoin kuin malmeissa, ovat kompleksiset tuotteet kytkeytyneitä toisiinsa; puhutaan urbaaneista ("designed") mineraaleista tai malmeista (tai urbaanista louhinnasta). Näillä urbaaneilla mineraaleilla tarkoitetaan laitteita, komponentteja ja ennen tuntemattomia funktionaalisia materiaaliyhdistelmiä, jotka sisältävät alkuaineita ei-luonnollisina yhdisteinä. Luonnossa esiintyvissä malmeissa on muutamista noin 20:een eri mineraalia, kun urbaanit malmit voivat sisältää jopa yli 50 eri metallia.

4.5.1 Jätevirran koostumus

Päätelaitteet koostuvat suurelta osin metalleista, mutta mukana on metallien lisäksi myös muoveja ja lasia. Sen lisäksi, että näissä voi tyypillisesti olla 60 % puhtaita metallikomponentteja, löytyy metallia myös piirilevyistä (jopa 45 eri metallia), LCD- ja LED-näyttöistä, kaapeleista ja metalli-muoviseoksista. Lisäksi jos verrataan materiaalien paino-osuuksia niiden taloudelliseen arvoon, ovat nämä usein ristiriidassa keskenään. Esimerkiksi piirilevyjen tai tietokoneiden painosta suurin osa on jotain muuta kuin metalleja (pääasiassa muovia), mutta koko taloudellinen arvo on metalleissa (Kuva 20).



Kuva 20 Piirilevyn ja tietokoneen kovalevyn magneettien paino- ja arvojakaumat (Väisänen, 2018)

Jakauma eri materiaalien aiheuttamista ympäristövaikutuksista on samankaltainen kuin arvon mukainen jakauma. Tämä tarkoittaa, että vaikka joillain metalleilla (esim. palladiumilla, kullalla ja hopealla) on vain pienet paino-osuudet tuotteessa, aiheuttavat ne silti suuremmat ympäristövaikutukset.

Lisähaasteita aiheuttavat myös eri osien kiinnitystavat. Esim. matkapuhelinten kokoonpanossa käytettiin vielä 1990-luvulla laajasti ruuveja puhelimen eri osien kiinnitykseen. Nykyisten älypuhelinten tai -laitteiden osat kiinnitetään enenevässä määrin liimaamalla tai muilla kertaluonteisilla kiinnityksillä. Tämä hankaloittaa sekä korjaustöiden menpiteitä, että kierrätyksessä esikäsittelyä (purkamista). Laitteiden valmistajille tämä ei ole ensisijainen ongelma; ellei lainsäädännöllisin keinoin onnistuta ulottamaan vaikutusta myös heihin.

4.5.2 Kierrätysprosessin valinta

Kierrätysprosessi tulee suunnitella ja optimoida suhteessa saantiin, joka vaihtelee kokoonpanoittain tai tuotteittain. Optimointi tapahtuu yleensä taloudellisin perustein, eli kierrätystoimija laskee prosessoinnin kustannukset suhteessa puhtaan metallin arvoon. Puhtaan metallin arvo vaihtelee ajassa paljon, joten tämä tekee oikeiden prosessointiparametrien ja taloudellisuuden määrittelystä hankalaa. Prosessin muuttaminen ja optimointi muuttaa väistämättä myös arvokkaiden materiaalien talteenottoa ja käytettyjä apuaineita, sekä suorien tai epäsuorien päästöjen määrää.

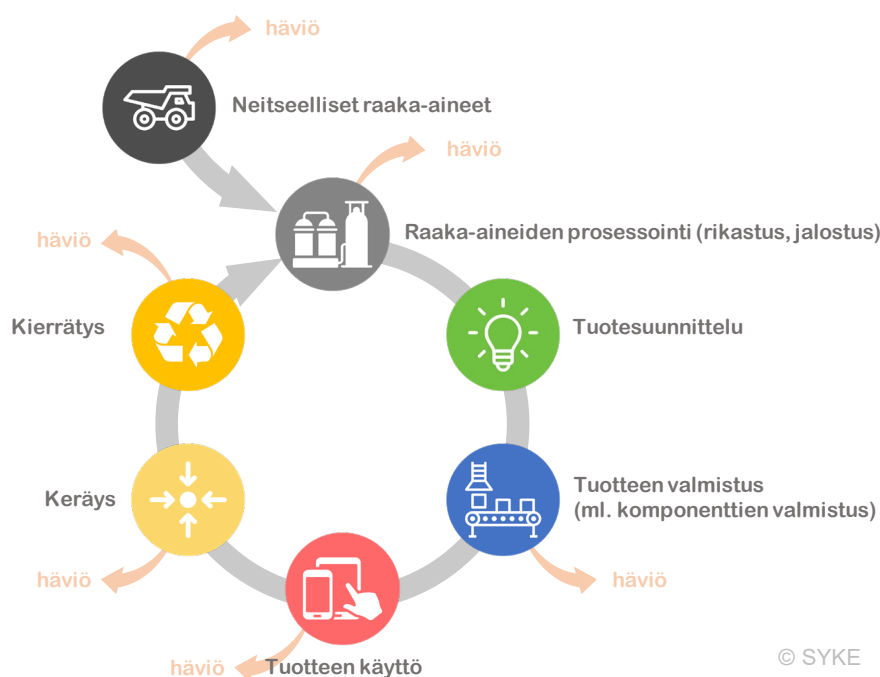
Kierrätyksen tarkoitus on palauttaa käytöstä poistettujen tuotteiden materiaalit takaisin käyttökelpoiseen muotoon, eli arvokkaksiin, puhtaisiin raaka-aineisiin, jotka voidaan hyödyntää helposti uusissa elektronisissa laitteissa. Ns. bulkki- tai perusmetallien ja komponenttien tai tuotteiden, jotka sisältävät vain yhtä materiaalia, kierrätys on jo nyt hyvällä tasolla ja resurssitehokasta (Taulukko 7). Mutta pienet, kompleksiset älylaitteet ovat hankalia kierrätettäviä, sillä ne ovat sekoitus kymmenistä eri metalleista, muoveista, lasista ja liimoista. Lisäksi pitoisuudet voivat olla hyvinkin pieniä. Eri materiaaliyhdistelmät vaativat erityyppisen kierrätysprosessin ja jotkut metallit estävät toisten kierrätyksen (luku 4.6.1). Jos laitteet saadaan kerättyä kierrätyksen piiriin, on korkeahko kierrätysprosentti saavutettavissa silti usein nykyisillä teknologioilla. Tällöin on tiedostettava kierrätysprosessin vaatimat resurssit (esim. energia tai kemikaalit) ja ympäristövaikutukset suhteessa kierrätettävän metallin arvoon, tai verrattuna primäärimateriaalin tuotannon aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin (Reuter, 2018). Ymmärryksen kunkin tuotteen saantitasoista suhteessa käytettyihin resursseihin tulisi ohjata vahvemmin nykyisiä kierrätysjärjestelmiä, tuotteen TKI-suuntauksia sekä kulutuspäätöksiä.

4.5.3 Suljettu kierto – onko se mahdollista?

“Ajatus kiertotalouden suljetusta kierrosta on miellyttävä. Se välittää mielikuvan siitä, että kaikki käyttöön otetut materiaalit voidaan käyttää uudestaan ilman, että kierrätykseen käytetään energiaa.

Epämiellyttäväksi asian tekee se, että kierron sulkeminen on mahdotonta. Sen takia tulisi myös keskustella prosessin häviöistä energian, metallien ja pölyjen kautta. Poliittikkalinjauksia tarvitaan mahdollistamaan kierrätys, eikä vaikeuttamaan sitä.” (Reuter, Rethink, 2018/19)

Täydellistä suljettua kiertoa tai ns. cradle-to-cradle -mallia on fysikaalisten lakien mukaan käytännössä mahdoton saavuttaa (Reuter ym., 2015). Tähän vaikuttavat termodynamiikan lisäksi myös esimerkiksi teknologian kehittymättömyys, ihmisten toimintatavat ja poliittiset päätökset. Kaikki tuotteet, olivat ne yksinkertaisia tai monimutkaisia, tarvitsevat tietyn määrän primäärimetallien syöttöä parantaakseen metallin laatua, täyttääkseen suuremman kysynnän tai kompensoidakseen prosessin häviöitä. Häviöt kierrätyksessä voivat olla merkittäviä (Bartie ym., 2019). Jokainen kierrätysvaihe, käytännössä jokainen elinkaaren vaihe, aiheuttaa jonkinlaista häviötä joko materiaalissa itsessään tai sen hyödynnettävissä olevassa energiassa (Kuva 21). Termodynamiikan oppien mukaisesti 100 % kierrätys on fysikaalinen mahdottomuus, sekä materiaalin että energian suhteen ja jokainen kierto käsittää peruuttamattomia häviöitä. Tuotteet voidaan tuottaa täysin kierrätetyistä materiaaleista; mutta elektroniikkatuotetta ei käytännössä ikinä voida kierrättää täysin (Reuter ym., 2019).



Kuva 21 Materiaalihäviöt elinkaaren aikana (mukaillen Bartie ym., 2019)

Kiertotalous konseptina on saanut täydellisen suljetut kierrot poliittiseksi tavoitetilaksi, ja kiertotalouden toiveta on yhdistelmä sulavasti toimivista yhteistyöpartnereista, jossa kuitenkin suurelta osin jätetään vääjäämättömät häviöt huomiotta (Lazarevic & Valve, 2017). Prosessin aikaisia häviöitä voidaan ja tuleekin minimoida, mutta niitä ei voida välttää täysin. Matkapuhelinten esiprosessoinnissa on todettu, että noin 3,4 % puhelimen painosta hävitään pölyihin, jotka sisältävät myös mm. hopeaa, kultaa ja palladiumia (Bacher & Kaartinen, 2017).

Suljetun kierron tekniset haasteet eivät silti tarkoita, etteikö merkittäviä hyötyjä voitaisi saavuttaa kierrätyksen eri vaiheita tehostamalla. Esimerkiksi laitteiden ja komponenttien modulaarisuus, näiden fyysinen olomuoto ja kierrätyksen mukainen tuotesuunnittelu voivat parantaa kiertoa. Myös ihmisten kulutus- ja käytöstottumusten muuttamiseen on tällaisen uuden kiertotalouteen perustuvan toimintamallin perustaminen tärkeää.

4.6 Kierrätyksen mahdollistajat

4.6.1 Kierrätyksen mahdollistavat kantajametallit

Vaikka julkisessa keskustelussa harvoin puhutaan ns. kantajametalleista (carrier metals), muovaavat nämä kierrätyksen tekniset ja fysikaaliset rajoitukset. (Reuter, 2019; UNEP, 2013). Kantajametallit voidaan kierrättää kohtuullisen helposti, mutta sen lisäksi ne mahdollistavat myös niihin kytkettyjen toisarvoisten metallien (minor metals) kierrätyksen. Nykyiset elektroniset tuotteet ja niiden sisältämät materiaalit eivät ota tätä huomioon, mikä asettaa haasteita kierrätyksen optimoinnille, sillä useat metallit ovat kierrätysteknisesti (metallurgisesti) keskenään ristiriidassa. Lisäksi jotkut tärkeät kantajametallit, kuten lyijy, ovat regulaation takia poistumassa käytöstä. Työkaluna optimaalisten metalliyhdistelmien hakemiseen, tai kierrätysprosessien alustavaan suunnitteluun on hyödynnetty ns. "metalliratas"-konseptia (metal wheel, Reuter and van Schaik, 2012). Metallirattaan avulla voidaan arvioida, mitkä metallit kierrättyvät minkäkin kantajametallin avulla joko pyro- tai hydrometallurgisesti. Lisäksi siitä on tunnistettavissa, mitkä metallit tyypillisesti hävitään tiettyjen metallien kanssa kierrätettäessä.

Kompleksisen konseptin tarkoitus on osoittaa, että jos tuote sisältää lukuisia eri metalleja, on hyvin todennäköistä, että osa näistä hävitään kierrätyksessä. Esimerkiksi rautaa kierrätettäessä hävitään todennäköisesti useita muita pienempiä materiaalivirtoja, joita tuotteessa on. Toisaalta, kupari-nikkeli-prosessissa saadaan tehokkaasti sekä pyro- että hydrometallurgisesti muutkin metallit talteen. Konseptin toinen viesti on se, että esimerkiksi lyijy (Pb) on tehokas kantajametalli, sillä se mahdollistaa lähes kaikkien siihen liittyvien metallien talteenoton. Tämän takia lyijyllä on tärkeä rooli kiertotalouden mahdollistajana. Tai toisin päin muotoiltuna; useiden kriittisten metallien (esim. In, Bi, Cd, Te) talteenoton tehokkuus riippuu nimenomaan mahdollisuuksista käyttää lyijyä. Lyijy nähdään usein ongelmallisena metallina sen terveysvaikutusten takia; minkä takia kierrätys ja koko siihen liittyvä infrastruktuuri tuleekin hallita tarkasti. Silti, lyijyn käytön täydellinen kieltäminen huonontaisi esimerkiksi hopean, kuparin, antimoniin, tinan, telluurin ja sinkin kierrätystä. Esimerkiksi EU:n Socrates-hankkeen tuloksina⁷ on arvioitu, että lyijyä sisältävien tuotteiden kontrollointi ja riskien minimointi on hallittava, sen sijaan, että aineen käyttö kiellettäisiin täysin (Reuter ym., 2019).

⁷ <https://kuleuven.sim2.be/wp-content/uploads/2019/02/SOCRATES-Policy-Brief-2019-Lead.pdf>

4.6.2 Ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu

Mahdollisuudet uudelleenkäyttää tai -valmistaa laitteet (kierrättää komponentit) tulisi hyödyntää ennen kuin materiaalit kierrätetään materiaaleina. Ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun ja Design-for-Recyclability -konseptien on tarkoitus vahvistaa näitä materiaali-kierrätystä edeltäviä vaihtoehtoja (Bartie ym., 2019). Ympäristön kannalta ne ovat parempia vaihtoehtoja, sillä niillä vältetään useita resurssi-intensiivisiä prosessoinnin vaiheita (esim. louhinta ja rikastus). Jopa 80 % tuotteiden ympäristövaikutuksista määräytyy suunnitteluvaiheessa, mutta nykytilanne ei tarjoa tuottajille riittäviä kannustimia parantaa tuotteidensa kiertoa. Lisäksi monet raaka-aineet ovat niin halpoja, ettei niiden hinta motivoi raaka-aineiden uudelleenkäyttöön tai säästöön. Monet tuotteet vanhenevat tai rikkoutuvat liian nopeasti, niitä ei ole helppo käyttää uudelleen, korjata tai kierrättää ja monet niistä valmistetaan vain kertakäyttöisiksi.

EU:n aloitteissa ja lainsäädännössä käsitellään jo tuotteiden kestävyysnäkökohtia joko pakolliselta tai vapaaehtoiselta pohjalta. Esimerkiksi ekosuunnitteludirektiivi (EC, 2009) sääntelee energiaan liittyvien tuotteiden energiatehokkuutta ja uudemmat täytäntöönpanotoimenpiteet myös joitakin kiertoon liittyviä ominaisuuksia. Uudessa toimenpidesuunnitelmassaan (EU, 2020) Euroopan komissio aikoo edistää kokonaisvaltaisemmin kestävästä tuotepoliittista kehystä parantaen tuotteiden kestävyttä, uudelleenkäytettävyyttä, päivitettävyyttä ja korjattavuutta, puuttuen vaarallisten kemikaalien esiintymiseen tuotteissa, lisäten niiden energia- ja resurssitehokkuutta ja kierrätysmateriaalien osuutta sekä pienentäen hiili- ja ympäristöjalanjälkiä. Sääntelytoimenpiteillä pyritään nimenomaan vaikuttamaan matkapuhelinten, tablettien ja kannettavien tietokoneiden energiatehokkuuden ja kestävyiden, korjattavuuden, päivitettävyyden, huollettavuuden, uudelleenkäytön ja kierrätyksen ennakoivaan suunnitteluun. Lisäksi elektroniikkaa ja tieto- ja viestintätekniikkaa pidetään ensisijaisena alana ”korjauttamisoikeuden” täytäntöönpanossa, mukaan lukien vanhentuneiden ohjelmistojen päivittämisen.

4.6.3 Arvoketjuyhteistyö

Eri arvoketjujen toimijoiden välinen vahvempi yhteistyö voi lisätä ekosuunnittelun hyötyjä ja tehostaa materiaalien käyttöä. Esimerkiksi materiaaleihin tai modulaarisuuteen liittyvien ominaisuuksien suunnitteluun tulisi lisätä kierrätysprosessien asiantuntemusta. Tieto materiaalien kierrätettävyydestä (esim. kantajametalleista) ei pääsääntöisesti yllä lopputuotteen suunnittelijalle asti, etenkin pitkien arvoketjujen, kuten elektronisten laitteiden tapauksessa. Joissain harvoissa tapauksissa tätä yhteistyötä on jo ryhdytty rakentamaan ja se on myös EU:n agendalla. Tämä kuitenkin toteutuu vain globaalissa mittakaavassa, sillä sekä elektroniikkatuotteet, että raaka-aineiden markkinat ovat globaaleja.

4.6.4 Elinkaarijohtaminen

Elinkaarijohtaminen ja sen vahvempi linkitys kiertotalouteen on tarpeellista, jotta negatiivisia ympäristövaikutuksia pystytään vähentämään nopeimmin ja tehokkaimmin. Elinkaarijohtamisella pystytään hallitsemaan koko laitteen elinkaarta, arvioimaan, mistä elinkaaren osasta tulee suurimmat vaikutukset ja pyrkiä vaikuttamaan ensisijaisesti niihin. Kierrätyksen osalta elinkaarijohtamisen avulla pystytään tutkimaan tarkasti koko kierrätysprosessin aiheuttamat ympäristövaikutukset tuotekohtaisesti. Tunnistamalla arvoketjun ympäristövaikutukset, voidaan esimerkiksi parantaa päätöksentekoa suunnittelun ja innovaatioiden tukemisen osalta, löytää mahdolliset tasapainotukset kierrätysprosessin sisällä ja arvioida missä tuotemuutokset parantavat kierrätettävyyttä, mutta kasvattavat muita ympäristövaikutuksia.

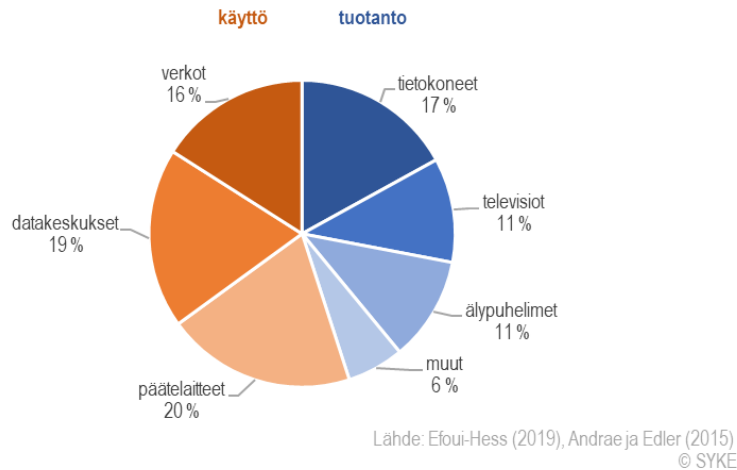
5 Päätelaitteiden käyttöön liittyvä energiankulutus

Päätelaitteiden energiankulutukseen osalta tässä tutkimuksessa keskitytään kahteen elinkaaren vaiheeseen. Elinkaaren alku, eli ns. kehdestä portille –vaihe (cradle-to-gate) pitää sisällään raaka-aineiden louhinnan ja jalostuksen sekä lopputuotteen valmistuksen ja näiden väliset kuljetukset. Tämä vaihe tapahtuu päätelaitteiden osalta pääosin Suomen ulkopuolella (pl. Suomessa louhitut ja jalostetut mineraalit ja metallit). Tämän lisäksi keskitytään raportissa laitteiden käyttövaiheeseen, joka tapahtuu pääosin Suomessa. Käyttövaihetta käsitellään päätelaitteiden oman sähkönkulutuksen lisäksi älykkäiden päätelaitteiden käyttöön liittyvien verkkojen ja verkossa sijaitsevat palveluiden kautta. Tämä välillinen energiankulutus tapahtuu hajaantuneena luke-mattomiin paikkoihin liityntä- ja runkoverkossa sekä palvelinkeskuksissa. Eri tahoilla on erilaisia näkemyksiä välillisen energiankulutuksen oikeasta allokaatiosta ja vastaa-vasti tuloksissa on suuri vaihteluväli. Oletusten, rajausten ja näkemysten vaikutus on suuri, esimerkiksi Pihkola ym. (2018) löysi internetin energiantensiteetille kirjallisuudesta arvoja välille 0,0064 – 136 kWh/GB. Eri vuosina tehtyjen tutkimusten vertailu on myös vaikeaa alueen nopean kehityksen vuoksi. Käyttövaiheen jälkeiset keräys- ja kierrätysvaiheet, sekä niihin liittyvät energiakysymykset käsitellään tässä raportissa luvussa 4.

5.1 Globaalin ICT-sektorin energiankulutus

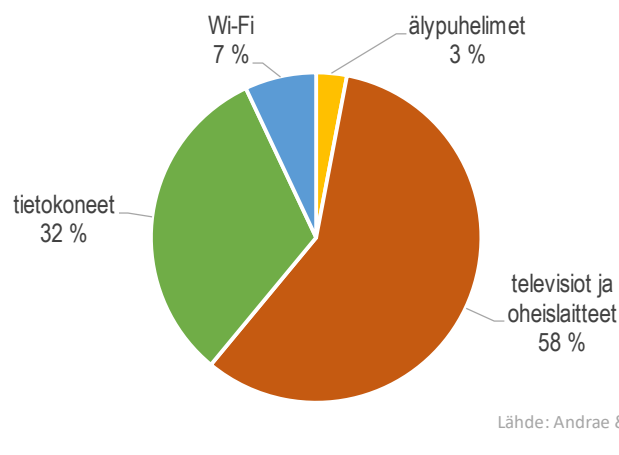
Globaalisti, ICT-sektori kuluttaa eri raporttien mukaan 3-9 % maailman sähköenergiasta (Andrae, 2020; van Heddeghem ym, 2014; Elisa, 2020) tai pelkät verkkolaitteet ja palvelimet 2 % (IEA, 2020). Ranskalaisen ajatushautomo ”Shift Project”:in (2019) mukaan digitaalisten teknologioiden energiankulutus kasvaisi 9 % vuosittain, mutta toisaalta, verkkolaitteiden ja palvelinten energiatehokkuuden paranemisen johdosta IEA (2019) arvioi, ettei internetin käytön viisinkertaistuessa palvelinkeskusten energiankulutus juurikaan nousisi.

Shift project on tutkinut ICT-laitteiden elinkaarellista energiankulutusta ja arvioinut, että käyttövaihe vie kokonaisuudessaan noin 55 % energiasta ja kehdestä portille -vaihe 45 % (Kuva 22). Käytön aikainen energiankulutus johtuu pääasiassa (80 %) video palveluiden käytöstä. Kaikki muu käyttö, internet-sivustokäynnit, pelit ja muu kommunikointi, aiheuttaa vain 20 % energiankulutuksesta. Nämä laskelmat perustuvat Andraen ja Edlerin (2015) esittämiin tuloksiin, joihin on viitattu paljon, mutta myös kriti-soitu.



Kuva 22 Energiankulutuksen jako eri energiankulutusyksiköiden välillä 2017 (Shift Project)

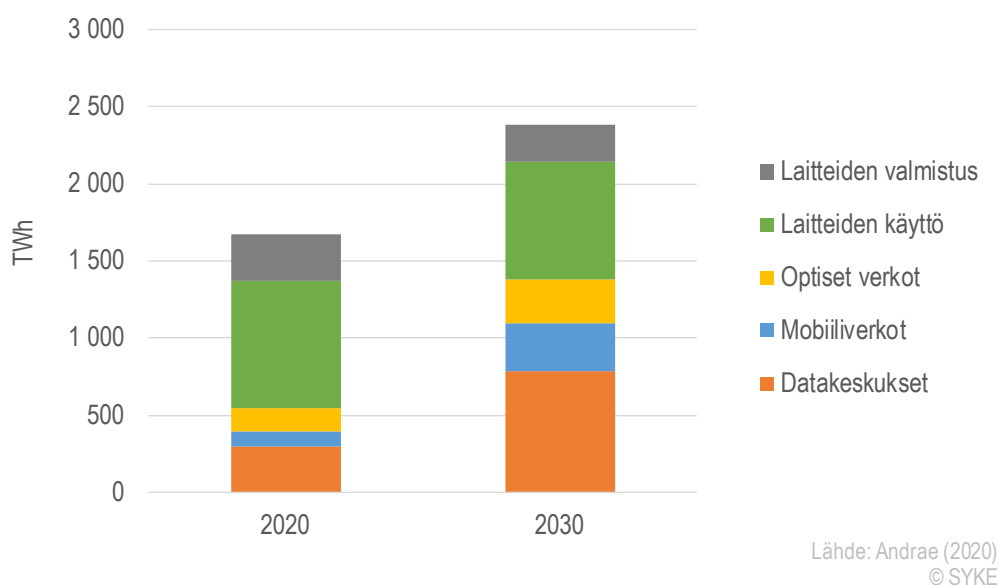
Päätelaitteiden energiankäyttö riippuu olennaisesti siitä, mistä laitteista on kyse ja miten niitä käytetään. Laitteiden kokonaisenergiankulutus lasketaan summana siitä, kuinka monta laitetta on käytössä ja mikä on niiden laitekohtainen energiankulutus. Andraen (2020) arvion mukaan suurin yksittäinen laiteryhmä on televisiot ja oheislaitteet ja ne käyttävät yhteensä 58 % koko laitekannan energiasta (Kuva 23). Andrae (2020) arvioi että päätelaitteiden (puhelimet, kannettavat tietokoneet, oheislaitteet, älykkäät kodinkoneet, Wi-Fi-modeemit/yhdyskäytävät ja IoT-laitteet) kokonaisenergiankulutus vuodessa 2020 on noin 830 ± 200 TWh ja se laskee vuoteen 2030 jolloin se voisi olla noin 760 ± 320 TWh.



Kuva 23 Eri laiteryhmien osuus koko laitekannan energiankulutuksesta (Lähde: Andrae, 2020)

Laitteiden valmistus ei ole näissä luvuissa mukana, mutta laitteiden valmistukseen (kehdestä portille) käytettävän energian määrä tulee laskemaan nykyisestä noin 300 ± 50 TWh noin 240 ± 60 TWh vuonna 2030 (Andrae & Edler, 2015).

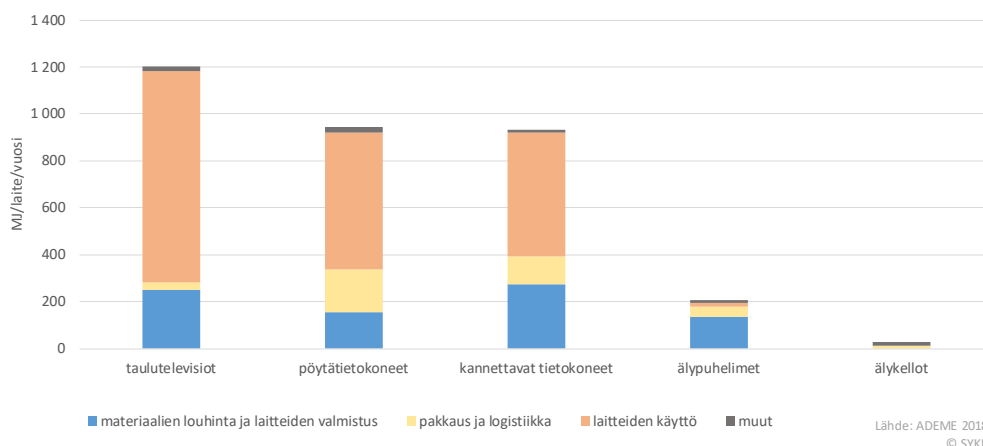
Näihin oletuksiin perustuen on kuvassa 24 arvioitu globaalin ICT-sektorin päätelaitteiden ja niitä tukevien verkkotoimintojen energiankulutuksen jakautuminen (Andrae, 2020).



Kuva 24 Digitaalsektorin globaali energiankulutus. Laitteiden valmistus pitää sisällään myös raaka-aineiden tuotannon (Lähde: Andrae, 2020)

5.2 Laitekohtainen energiankulutus

Päätelaitteiden energiankäyttö on vaihtelevaa jopa tuoteryhmien sisällä, mutta yksinkertaisten oletusten perusteella voidaan laskea suuntaa antavia tuloksia kokonaiskuvan muodostamiseksi. Päätelaitteiden käytönaikainen energiankulutus riippuu siitä, miten ja kuinka paljon laitetta käytetään. ADEMen raportissa (2018) on laskettu valittujen elektronisten laitteiden kumulatiivinen energiankulutus (CED).



Kuva 25 Valittujen elektronisten laitteiden kumulatiivinen energiankulutus (CED), per vuosi (ADEME, 2018)

Kuvassa 25 näkyy, että laitteiden käyttö voi muodostaa merkittävän osan kumulatiivisesta energiankulutuksesta. Tämän raportin kattamien laitteiden kohdalla tämä pätee erityisesti televisioihin, tietokoneisiin, tabletteihin ja modeemiin. Älypuhelimissa ja-kauma on päinvastainen, kun laitteiden valmistus muodostaa suurimman osan kumulatiivisesta energiankulutuksesta. Tässä tarkastelussa on huomioitu vain laitteiden oma energiankulutus, ei välillisiä vaikutuksia, kuten verkon ja palvelinkeskusten käyttöä. Taulukko 9 kuvaa oletuksia laskennan pohjana.

Taulukko 9 ADEME-raportin oletukset laitteiden käytölle (ADEME, 2018)

	käyttö päivässä	elinikä
televisio	4 t	8 v
kannettava tietokone	3.8 t	4 v
pöytätietokone	4.3 t	6 v
tabletti	30 min	3 v
älypuhelin	1 lataus	2 v
älykello	~0.3 latausta	5 v

Energiankulutukseen vaikuttavat tekijät

Päätelaitteen energiankulutukseen vaikuttavat monet tekijät. Schien & Priest (2014) mukaan olennaisesti vaikuttavia tekijöitä ovat ainakin käytetyn liityntäverkon tyyppi (välillinen energiankulutus) ja päätelaitteen koko (laitteen oma energiankulutus). Esimerkiksi kiinteän verkon käyttäminen WLAN-yhteydellä on selvästi 3G-verkkoyhteyttä energiatehokkaampi ja tabletti käyttää energiaa tietokonetta vähemmän. Matkapuhelinverkkojen energiatehokkuus paranee myös sukupolvesta toiseen (Apilo ym., 2015).

Käytön määrä ja jakautuminen erilaisiin käyttötapoihin vaihtelee paljon. ICT-laitteissa paljon laskentaa vaativa käyttö kuluttaa yleensä enemmän energiaa, mutta tässä tarkastelussa ei päästä sille tarkkuuden tasolle, vaan keskitytään lähinnä käyttöaikaan ja keskimääräiseen kulutukseen.

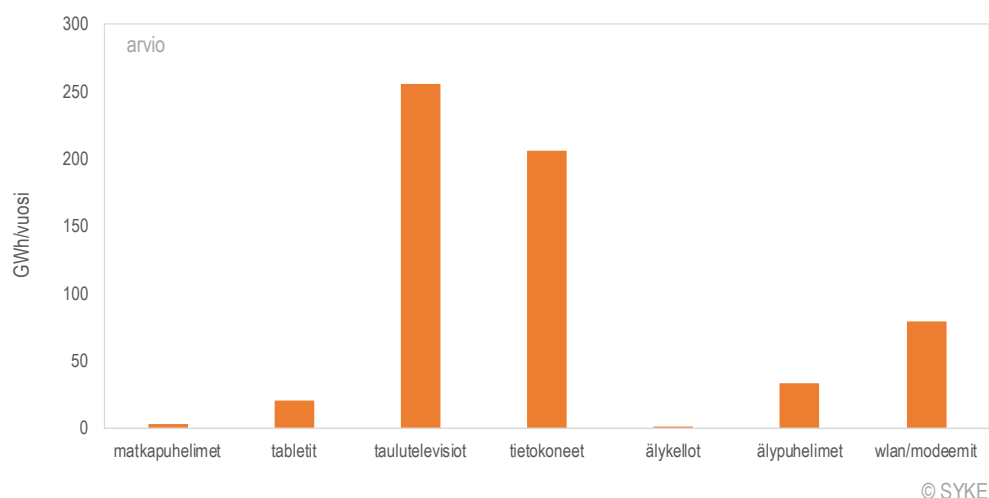
5.3 Päätelaitteiden käytönaikainen energiankulutus Suomessa

Käytönaikaista energiankulutusta voidaan tarkastella puhtaasti päätelaitteen kuluttaman sähkön mukaisesti tai ottaa huomioon myös käytön aiheuttama välillinen energiankulutus verkossa ja palvelinkeskuksissa. Tässä keskitytään ensin päätelaitteiden suoraan energiankulutukseen, mutta pyritään sitten hahmottamaan myös kokonaiskuva välilliset vaikutukset huomioiden.

Kuva 26 esittää arvion kotitalouksien päätelaittekannan energiankulutuksesta Suomessa. Laskelma on tehty luvussa 2 arvioitujen laitemäärien ja kirjallisuudesta haettujen suuntaa antavien laitetyyppikohtaisten energiankulutusarvojen perusteella. Energiankulutus vaihtelee näiden ryhmien sisällä voimakkaasti. Esimerkiksi televisiot kuuluvat energialuokituksen piiriin ja niiden vuotuinen energian käyttö 4 tunnin päiväkäytöllä löytyy lakisääteisistä merkinnöistä. Suosituimmat tällä hetkellä myytävät televisiot käyttävät tyypillisesti noin 100 kWh vuodessa, suuremmat kuitenkin yli 300 kWh. Taulukko 10 sisältää laskemassa käytetyt energiankulutusarvot sekä niiden lähteet. Myyntitilastoista puuttuvan wlan/modeemit-ryhmän laitemääräksi on, tätä tarkastelua varten, karkeasti arvioitu laajakaistaliittymien määrä kotitalouksissa vuoden 2019 lopussa (Traficom, 2020).

Taulukko 10 Päätelaitekohtaiset käytönaikaiset energiankulutusarvot.

	kWh/vuosi	arvioita kirjallisuudesta
matkapuhelimet	5	
tabletit	10	12 kWh (Engaded, 2012), 5,4 kWh (Hischier ja Wäger, 2015)
taulutelevisiot	100	Energiamerkintöjen mukaan 32-55 tuuman suositut mallit 50-150 kWh
tietokoneet	100	53,2-186,2 kWh (Oracle, 2014), 77,8-349,1 kWh (Hischier ja Wäger, 2015)
älykellot	1	
älypuhelimet	5	3,8-4,2 (Oracle, 2014)
wlan/modeemit	50	45-65 kWh (Calchand ym., 2010), 24 kWh (wlan, Sikdar, 2015)



Kuva 26 Kotitalouksien päätelaitteiden arvioitu vuotuinen yhteenlaskettu suora energiankulutus Suomessa

Televisiot ovat näillä oletuksilla tarkastelluista päätelaitteista suurin energian käyttäjä. Modernien laitteiden parantunut energiatehokkuus ja pieni koko näkyvät tablettien ja älypuhelimien kohdalla (Kuva 26), vaikka älypuhelimia on käytössä yli kaksi kertaa muita enemmän, on niiden suora energiankäyttö silti maltillinen. Kodin langattoman verkon reitittimet ja modeemit on tässä yhteydessä hyvä huomioida, koska ne ovat yleensä jatkuvasti päällä. Reitittimet ja modeemit ovat kuitenkin esimerkiksi televisioihin nähden vähäenergisiä.

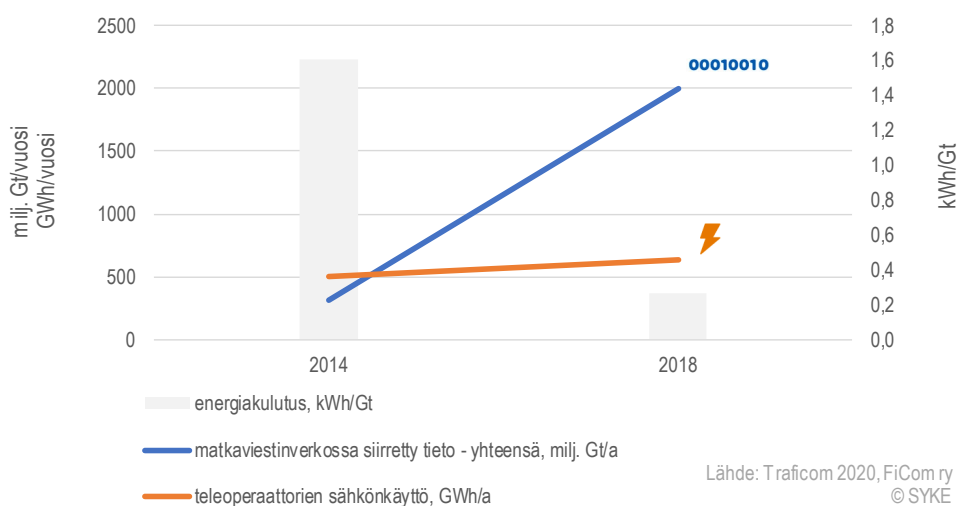
Laskelmassa huomioitujen päätelaitteiden yhteenlaskettu vuotuinen energiankulutus Suomessa on yli 600 GWh. Tässä laskelmassa on kuitenkin mukana vain suora sähkökäyttö – ei esimerkiksi Netflixin käytöstä aiheutuva energiankulutus verkossa ja datakeskuksissa. Suomen Tilastokeskuksen mukaan 34 % Suomen väestöstä käyttää internetiä myös älytelevisioiden kautta ja prosenttiosuus näyttää kasvavalta, koska nuoremmat sukupolvet käyttävät niitä enemmän (Taulukko 11).

Taulukko 11 Internetin käyttö televisiolla 2019, %-osuus väestöstä (SVT, 2019)

	Internetin käyttö digiboksiin liitettyllä televisiolla	Internetin käyttö suoraan internetiin liitettyllä televisiolla (SMART-TV)
16-24v	29	46
25-34v	30	52
35-44v	35	46
45-54v	33	39
55-64v	26	29

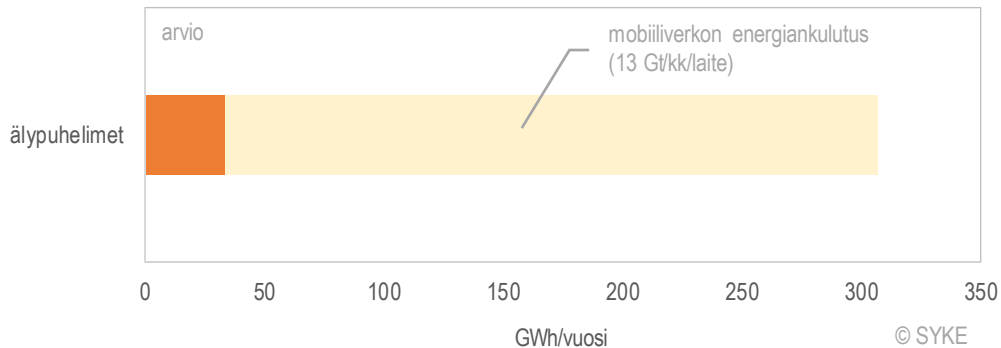
65-74v	15	15
75-89v	6	
Kaikki	25	34

Päätelaitteiden käytön aiheuttama välillinen energiankulutus pitää sisällään pääasiassa liityntäverkon, runkoverkon ja palvelinkeskusten sähkön käyttöä. Näistä verkkojen ja erityisesti matkapuhelinverkon osuus on tutkimusten mukaan huomattava (Andrae & Edler, 2015). Tietoliikenneverkkojen kokonaissähkönkulutus Suomessa vuonna 2018 oli FiCom ry:n (2020) mukaan 634 GWh. Sähkönkulutus verkoissa kasvaa, mutta hitaammin kuin datan määrä. Kasvavaa datan määrää kompensoi verkkojen ominaisenergiansäähkönkulutuksen paraneminen (Kuva 27).



Kuva 27 Suomen mobiiliverkkojen volyymit ja energiatehokkuus (Traficom 2020, FiCom 2020)

Kun älypuhelimien energiankulutuksessa huomioidaan niiden käytöstä johtuva matkapuhelinverkon energian käyttö, muuttuu kokonaiskuva olennaisesti (Kuva 28). Suuntaa antavassa laskelmassa on käytetty FiCom ry:n (2020) esittämää ominaisenergiansäähkönkulutusta 0,26 kWh/Gt ja Traficom:in (2019a) julkistamaa matkapuhelinliittymien keskimääräistä datan käyttöä 13 Gt/kk vuoden 2018 jälkimmäisellä puoliskolla. Tästäkin laskelmasta puuttuu runkoverkon ja palvelinkeskusten välillinen energiankulutus, joka periaatteessa on kuitenkin sama kaikille vastaavaa sisältöä käyttäville päätelaitteille.



Kuva 28 Älypuhelimien arvioitu vuotuinen suora energiankulutus ja välillinen osuus mobiiliverkon energiankulutuksesta datan käytön perusteella

5.4 Energiankulutukseen vaikuttaminen

Päätelaitteiden käytön aikaiseen energiankulutukseen on eri toimijoiden mahdollista vaikuttaa eri keinoin. Kuluttaja itse pystyy vaikuttamaan laitteen suoraan käyttämän energian määrään. Lisäksi laitteen suunnittelija, verkko- ja palvelinkeskusoperaattorit, ja julkinen sektori pystyvät vähentämään laitteen, tai sitä tukevan infrastruktuurin, energiankulutusta.

Kuluttajien käyttötottumukset

Kuluttajat voivat omalla toiminnallaan vaikuttaa energiankulutukseen. Ohessa on energiansäästövinkkejä erilaisista laitekategorioista. Case-esimerkkeinä tässä toimivat televisio, älypuhelin ja modeemi edustaen isoja, aina mukana kulkevia ja toisaalta tyypillisesti kodeissa aina päällä olevia päätelaitteita.

- Televisio
 - **Ikä.** Vanhemmat TV-mallit (CRT, plasma) vaativat enemmän energiaa aktiivisen käytön aikana, mutta usein myös valmiustilassa. LCD-näyttöjen (LEDien edeltäjät) energiankulutus on melkein sama kuin LEDien. CRT- ja plasma-näytöt käyttävät tyypillisesti noin kolme kertaa enemmän energiaa kuin ledit. Vanhan television vaihto uuteen, energiatehokkaampaan malliin voi kannattaa, varsinkin jos televisiota käytetään paljon.
 - **Näytön koko.** Mitä suurempi näyttö on, sitä suurempi energiankulutus on. Näytön kirkkauden pienentäminen vähentää energiankulutusta.

- **Suoratoisto.** Toisin kuin vanhat televisiot, uudet televisiot on kytketty Internetiin joko kaapeliyhteyden tai wifi-yhteyden kautta. Varsinkin langaton yhteys vaatii energiaa. ”Aina päällä” -toiminnon poistaminen käytöstä vähentää energiankulutusta.
- Älypuhelin
 - **Näytön kirkkaus.** Näytön kirkkauden pienentäminen vähentää laitteen energiankulutusta.
 - **Verkko.** Vakaan WIFI-verkon suosiminen mobiiliverkkoon verrattuna voi vähentää laitteen energiankulutusta.
 - **Päivitykset ja sovellukset.** Turhien sovellusten automaattiset päivitykset, taustalla olevat sovellukset ja lokalisointipalvelut lisäävät energiankulutusta.
 - **Energiansäästötoiminnot.** Laitteiden energiansäästötoiminnot ja -sovellukset auttavat energiankulutuksen vähentämisessä.
- Modeemi (aina päällä oleva)
 - Modeemi yhdistettynä wifi-reitittimeen tai jopa varmuuskopioasemaan voi olla yllättävän paljon energiaa kuluttava laite. Vanhemmat reitittimet voivat kuluttaa jopa enemmän sähköä kuin esimerkiksi modernit energiatehokkaat jääkaapit. Joissain tapauksissa voi olla hyvä idea korvata vanha reititin uudella, energiatehokkaammalla ja nopeammalla.
 - On suositeltavaa kytkeä reititin pois päältä, kun sitä ei tarvita (esim. kun keittää ei ole kotona tai yöllä). Yksinkertainen ratkaisu tähän on etäkytkin, joka on lisätty reitittimen ja pistorasian väliin.

Tuotesuunnittelu

Vain pieni osa päätelaitteista on suunniteltu Suomessa. Siksi suomalaisten toimijoiden mahdollisuus vaikuttaa suunnitteluun ja sen vaikutuksiin energiankulutukseen on rajoitettu. Parhaat vaikutusmahdollisuudet voidaan saavuttaa aktiivisella osallistumisella EU:n säännösvalmisteluun. Ekosuunnitteludirektiiviin pohjalta annettavat tuoter ryhmäkohtaiset täytäntöönpanosäännökset ovat asetuksia, joita sovelletaan sellaiseen. Näitä tuotevaatimuksia on tällä hetkellä noin 30 tuoter ryhmälle ja niiden valmisteluun, erityisesti taustaselvityksiin, on eri sidosryhmien hyvä vaikuttaa (Energiavirasto, 2020).

Yleisesti ottaen laitteet olisi pidettävä käytössä mahdollisimman pitkään, mutta poikkeuksen muodostavat laitteet, joiden käytönaikainen energiankulutus on suhteellisen suuri ja energiatehokkuus paranee esimerkiksi teknologian kehittyessä (mm. plasma- vs. LED-TV). Pidemmät käyttöiät voidaan saavuttaa esimerkiksi laajentamalla valmistajien tukea, mukaan lukien korjaus ja jatkuvat ohjelmistopäivitykset. Energiankulutusta käyttövaiheessa voidaan parantaa mm. ohjelmistopäivityksillä ja sovellusten optimoinnilla. Suomalaisilla ohjelmisto- ja sovelluskehittäjillä voi olla tärkeä rooli tässä suhteessa. Kaikki kuluttajat eivät vaadi parasta suorituskykyä. Monet saattavat arvostaa esimerkiksi laitteiden pidempää akun käyttöikää.

Toimialan toimenpiteet

Suomen ICT-toimialalla on tuonnin suuren osuuden johdosta vain vähän suoria mahdollisuuksia vaikuttaa päätelaitteiden energiatehokkuuteen tai energian käyttöön kehdestä portille -vaiheessa. Välilliseen käytönaikaiseen energiatehokkuuteen sen sijaan verkko- ja palvelinkeskusoperaattorit voivat vaikuttaa enemmän ja kehitys on ollut oikean suuntaista jo pitkään. Operaattoreiden laitteissa käytönaikainen energiankulutus on merkittävä, joten laitteiden uusiminen energiatehokkuuden parantuessa on usein järkevää.

Suomella on myös mahdollisuuksia vaikuttaa teknologian viennin avulla esimerkiksi raaka-aineiden louhinnan ja jalostuksen sekä kierrätyksen energiatehokkuuteen. Suomessa on useita cleantech-yrityksiä, jotka toimittavat energia- ja materiaalitehokasta prosessointiteknologiaa primääri- ja sekundaarivirtojen hyödyntämiseen. Viennin avulla voidaan sekä vähentää näiden arvoketjujen globaaleja päästöjä, sekä saada siitä kilpailuetua Suomelle.

6 Päätelaitteiden ilmastovaikutukset

Päätelaitteiden ilmastovaikutukset liittyvät suurelta osin elinkaaren aikaiseen energiankulutukseen. Kuten luvussa 5, keskitytään ilmastovaikutustenkin tarkastelussa kahden elinkaaren vaiheeseen, eli kehdestä portille-vaiheeseen (raaka-aineiden louhinta ja jalostus sekä lopputuotteen valmistus ja näiden väliset kuljetukset), sekä käytön aikaisiin ilmastovaikutuksiin. Ilmastovaikutusten suuruus riippuu energiankulutuksen lisäksi eri elinkaaren vaiheissa kulutetun energian ominaispäästöistä. Kehdestä portille-vaihe tapahtuu näiden päätelaitteiden osalta pääosin Suomen ulkopuolella (pl. Suomessa louhitut ja jalostetut mineraalit ja metallit), kun taas käyttövaihe Suomessa. Käyttövaiheen suora sähkönkulutus tapahtuu suoraan käyttöpaikalla ja käytön välillinen sähkönkulutus lähinnä verkko- ja palveluoperaattorien tuotantojärjestelmissä. Kaikkien näiden vaiheiden energiankulutuksella on erilainen päästöprofiili.

6.1 Globaalin ICT-sektorin kasvihuonekaasupäästöt

Arviot koko ICT-sektorin kasvihuonekaasupäästöjen suuruudesta eroavat eri lähteissä. Yleensä digitaalisen sektorin aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt arvioidaan muutamaksi prosentiksi kaikista kasvihuonekaasupäästöistä, esimerkiksi Efoui-Hessin (2019) arvioi päästöosuudeksi 4 %.

Andrae (haastattelu 2020) arvioi päätelaitteiden valmistuksen ja käytön muodostavan noin 70 % sektorin päästöistä, jolloin verkkojen ja palvelinkeskusten osuudeksi jää noin 30 %. Edellisen kappaleen eri tutkimusten globaalin energiankulutuksen ja-kaumat kuvaavat myös niistä aiheutuvien ilmastovaikutusten jakaumaa globaalilla tasolla, joten niitä ei ole tässä syytä toistaa. Laite- tai maakohtaisia arvioita, varsinkaan päästöjen osalta, ei kuitenkaan pitäisi perustaa näihin globaaleihin tutkimuksiin erilaisten päästökertoimien ja muiden maakohtaisten eroavaisuuksien vuoksi.

6.2 Laitekohtaiset ilmastovaikutukset

Laitekohtaisia elinkaarianalyysyjä on tehty eri kategorioiden tuotteille vaihtelevasti. Useimmissa tutkimuksissa ilmoitetaan tuotteen kehdestä portille-vaiheen ja käyttövaiheen päästöt. Välillä erotellaan myös kuljetusvaihe kuluttajalle ja käyttövaiheen jälkeiset (EOL) vaiheet. Näistä varsinkin EOL on todettu merkitykseltään vähäiseksi (Suckling & Lee 2015, Apple 2019). Raportissaan Suckling ja Lee (2015) kuitenkin

huomauttavat, että kierrätettyjen materiaalien käytön pitäisi laskea kehdestä portille -vaiheen päästöjä, mutta vielä näitä vaikutuksia ei pystytä arvioimaan.

Uuden päätelaitteen kehdestä portille -päästöt syntyvät Suomen ulkopuolella ja niiden arviointi voidaan tehdä suoraan kirjallisuustutkimuksen referenssien mukaan. Taulukko 12 sisältää arviot eri tuotteiden kehdestä portille -kasvihuonekaasupäästöistä eri lähteistä. Näiden tausta-arvioiden perusteella on muodostettu arvio yhdeksi suuntaa antavaksi vertailuarvoksi kullekin päätelaitetyypille. Lisäksi kokonaisarvo on jaettu laitteen oletetulla käyttöiällä (Kuva 5), jotta saadaan vuotuisiin käytönaikaisiin päästöihin vertailtavissa oleva vuotuinen päästöarvo.

Taulukko 12 Laitekohtaiset khk-päästöt kehdestä portille

	arvio kehdestä portille (kg CO ₂ e)	vuotuinen arvio kehdestä portille (kg CO ₂ e)	arvioita kirjallisuudesta
tabletti	100	20	IVL 2020 (97 kg CO ₂ e), Belkhir ja Elmeligi 2018 (80-116 kg CO ₂ e)
taulutelevisio	510	64	IVL 2020 (monitors)
tietokone	350	70	IVL 2020 (laptop 280, desktop 460 kg CO ₂ e), Belkhir ja Elmeligi 2018 (218-628 kg CO ₂ e)
älypuhelin	60	20	Apple 2019 (iPhone11 57 kg CO ₂ e), IVL 2020 (55 kg CO ₂ e), Belkhir and Elmeligi 2018 (40-80 kg CO ₂ e)

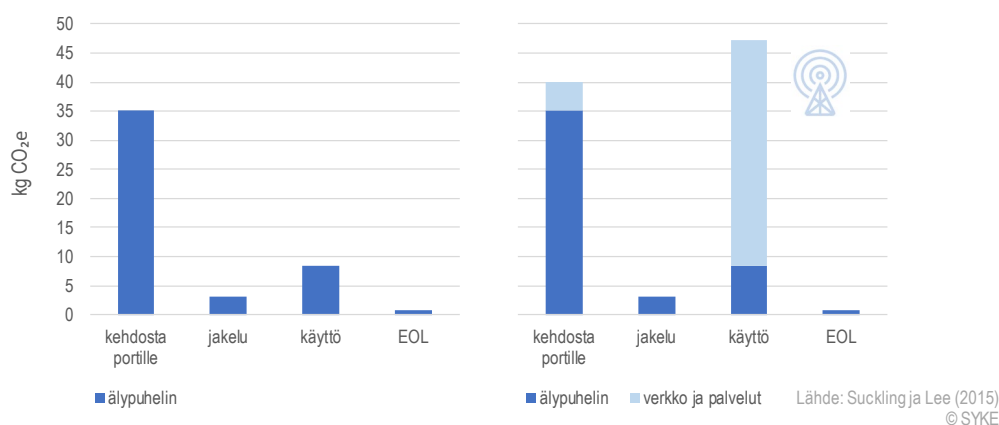
Näiden päätelaitteiden käytönaikaiset suorat päästöt voidaan karkeasti arvioida niiden energiankulutuksen (Taulukko 10) ja suomalaisen sähkön päästökertoimen (141 g CO₂e/kWh, Motiva (2020) perusteella. Käytönaikaiset, vuotuiset päästöt on laskettu taulukkoon 13.

Taulukko 13 Laitekohtaiset käyttövaiheen khk-päästöt suomalaisen sähkön päästökertoimella

	suorat käytönaikaiset päästöt (kg CO ₂ e / vuosi)
tabletti	3
taulutelevisio	25
tietokone	25
älypuhelin	1

Näissä luvuissa on mukana vain suorat käyttöpaikan sähkönkulutuksen päästöt. Suckling ja Lee (2015) ovat arvioineet välillisten verkossa ja palvelinkeskuksissa aiheutuvien päästöjen merkitystä käyttäen lähinnä valmistajien julkaisemia LCA-tuloksia omille älypuhelimilleen. Kuvassa 29 vasemmalla puolella näkyy arvio sen aikaisen

keskimääräisen älypuhelimien päästöjen jakaumasta eri elinkaaren vaiheisiin. Kun huomioidaan vain laitteen suora energiankulutus, näyttyy kehdestä portille -vaihe selvästi dominoivana. Oikean puoleisessa kuvassa on saman keskimääräisen puhelimen päästöjen jakauma välilliset päästöt huomioiden. Suckling ja Lee (2015) arvioivat, että välilliset päästöt huomioiden käyttövaihe olisi päästöjen osalta yhtä merkityksellinen kuin kehdestä portille -vaihekin. Lisäksi Suckling ja Lee (2015) ottavat raportissaan esille käyttövaiheen tulosten herkkyyden erilaisista oletuksista ja rajoituksista, kuten Kuva 29 osoittaa, päästöt voivat pelkästään eri rajoituksilla olla jopa moninkertaiset.



Kuva 29 Välillisten päästöjen vaikutus älypuhelimien elinkaariin päästöihin Suckling ja Lee:n mukaan (2015)

6.3 Päätelaitteiden ilmastovaikutukset Suomessa

Päätelaitteiden ilmastovaikutuksia on tutkittu Suomessa vähän. Globaalit tutkimukset sopivat yleensä huonosti Suomen päätelaitetilanteen arviointiin koska globaalit sähkön päästökertoimet ovat korkeita ja osin myös koska Suomen mobiilidatan käyttö on kansainvälisesti katsoen erittäin runsasta.

Suomen ympäristökeskus SYKE on tutkinut myös yleisemmin kulutuksen elinkaarisia päästöjä ENVIMAT-mallilla. ENVIMAT on ympäristölaajennettu panos-tuotosmalli, jolla on analysoitu Suomen kulutuksen kasvihuonekaasupäästöjä muun muassa vuosien 2010 ja 2015 osalta. Kulutusperusteisesti laskettu Suomen hiilijalanjälki oli vuonna 2015 33 % suurempi kuin Suomen alueella syntynyt virallisissa tilastoissa esitetty päästö.

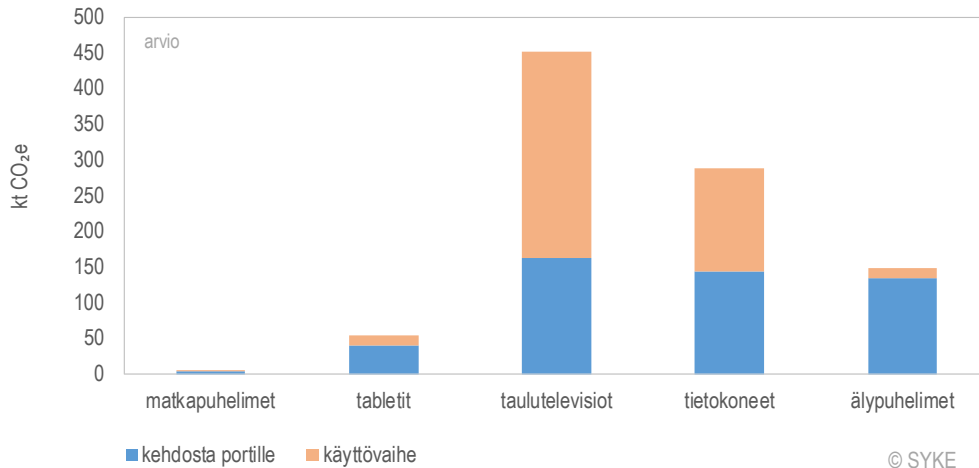
Tämän raportin kehdestä hautaan -vaiheen päästöt ovat pääosaltaan kulutusperusteisia eivätkä sisälly Suomen alueella syntyviin virallisissa tilastoissa esitettäviin päästöihin. Sen sijaan käyttövaiheen suorat khk-päästöt ovat virallisissa tilastoissa mukana. Käyttövaiheen epäsuorat päästöt jakautuvat alueperusteisesti, niin että Suomen mobiili- ja kiinteän verkon päästöt lasketaan mukaan, mutta esimerkiksi ulkomaisten datakeskusten päästöt eivät sisälly Suomen virallisiin päästötalastoihin.

ENVIMAT-malli olisi kulutusperusteisena hyvä tapa tarkastella ICT-päätelaitteiden päästöjä, mutta mallin nykyinen kulutushyödykkeiden luokittelu ja tarkkuus eivät mahdollista eri päätelaiteluokkien tarkastelua. Vuonna 2015 audiovisuaaliset laitteet ja tietokoneet -kulutushyödykeryhmä edusti 1,6 % osuutta kotitalouksien kulutusperusteisista päästöistä (Taulukko 14), mutta tämän tarkempaa erittelyä ei mallin lähtöiedoista voida tuottaa. Tietoliikenteeseen kulutettujen eurojen päästöt ovat tutkimuksessa 0,7 % vuonna 2015. Päästöjen suhteellinen määrä on laskenut vuodesta 2010 molemmissa luokissa. (Savolainen ym. 2019)

Taulukko 14 ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia (Lähde: Savolainen ym., 2019)

	2010 (Mkg CO ₂ e)	2010 osuus päästöistä	2015 (Mkg CO ₂ e)	2015 osuus päästöistä
Tietoliikenne	512	0,9 %	354	0,7 %
Audiovisuaaliset laitteet ja tietokoneet	1 451	2,6 %	786	1,6 %

Laitekohtaisten päästöjen perusteella voidaan arvioida Suomen päätelaittekannan elinkaarisia kokonaispäästöjä. Kuvassa 30 on karkea arvio Suomen päätelaittekannan elinkaaren aikaisten päästöjen jakautumisesta laitetyppeittäin. Laskelma on muodostettu kertomalla vuotuiset laitekohtaiset päästöt kehdestä portille (Taulukko 12) ja laitekohtaiset päästöt käyttövaiheesta (Taulukko 13), käytössä olevien päätelaitteiden määrällä (Kuva 6). Käyttövaiheen päästöt muodostavat olennaisen osan taulutelevisioiden ja tietokoneiden elinkaarisista päästöistä, mutta tablettien ja puhelinten osalta kehdestä portille -vaihe on selvästi suurin. Taulutelevisiot ovat tämän tarkastelun perusteella eniten elinkaarisia päästöjä aiheuttava laitekanta. Älypuhelinten mobiili- ja muiden verkkojen tai palvelinkeskusten käytöstä johtuvia välillisiä päästöjä ei ole tässä yhteydessä pystytty arvioimaan. Useampi suomalainen operaattori on ilmoittanut käyttävänsä yksinomaan vähäpäästöistä sähköä (DNA, 2020; Elisa Oyj, 2020), joten välilliset päästöt ovat todennäköisesti pienemmät kuin globaaleissa tutkimuksissa on nähty (esim. Suckling ja Lee, 2015).



Kuva 30 Arvio päätelaitekannan elinkaarisista päästöistä yhtä käyttövuotta kohden

6.4 Kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaminen

Yleisesti käyttövaiheen ilmastovaikutukset voidaan parhaiten minimoida käyttämällä uusiutuvaa sähköä. Laitteen näytön koolla on merkitystä, isompi televisio tai älypuhelin kuluttaa yleensä enemmän energiaa kuin sen pienempi versio. Suurempi energiankulutus johtaa suurempiin kasvihuonekaasupäästöihin.

Kuluttajien käyttötottumukset / toimenpiteet

- Televisio
 - Televisio kuluttaa suhteellisen paljon energiaa ja niistä on hyvä lähteä liikkeelle ilmastovaikutusten minimoimiseksi. Ensiksikin televisiot olisi hyvä sammuttaa, ellei niitä katsota.
 - Videoiden ja elokuvien suoratoisto korkeammalla resoluutiolla (esim. 4K tai UHD) todennäköisesti rasittaa ilmastoa paljon enemmän kuin tavallisen televisiolähteyksen katseleminen.
 - Kun uusiutuvaa sähköä käytetään, käyttövaiheen merkitys kokonaisilmastovaikutuksista laskee huomattavasti. Lisäksi on suositeltavaa mahdollisuuksien mukaan hankkia käytettyjä laitteita, jotta niiden valmistuksen ilmastovaikutukset jakautuvat pidemmälle ajanjaksolle. On paljon vaikeampi vaikuttaa kehdestä portille -vaiheeseen kuin omaan käyttöön.

- Älypuhelin
 - Älypuhelimien oman sähkönkäytön ilmastovaikutukset ovat pienet verrattuna elinkaaren alkuvaiheeseen, joten älypuhelimia on suositeltavaa käyttää mahdollisimman pitkään. Kannattaa myös harkita rikkoutuneen laitteen korjaamista uuden ostamisen sijaan.
 - Videon katseluun, varsinkin älypuhelimien pienessä ruudussa, riittää usein matalampikin resoluutio, mikä vähentää merkittävästi verkoissa siirrettävän datan määrää.
 - Älypuhelimien elinkaaren pidentämiseksi kuluttajien tulisi vaatia pitkää tukiaikaa vähintään tietoturvapäivitysten osalta. Älypuhelin on henkilökohtainen laite, joka on potentiaalisesti alttiina uhille kun sitä käytetään verkossa. Siksi on tärkeää, että käyttöjärjestelmä pysyy ajan tasalla, tarjoten parasta mahdollista suojaa ja suorituskykyä. Halvat, mutta myös monet kalliimmat, älypuhelimet eivät usein valitettavasti tarjoa pitkäaikaista ohjelmistotukea.

Toimialan toimenpiteet

- Vähähiilisen energian käyttö ja energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet
- Ilmastovaikutusten esillä pitäminen ja systemaattiset kierrätysohjelmat pidentämään päätelaiteiden elinkaarta (2nd life) ja mahdollistamaan materiaalien kierrätystä
- Aktiivinen vaikuttaminen toimialajärjestöjen kautta

Julkinen ohjaus

- Myös taakanjakosektorilla voisi olla päästökaupan tyyppinen hintamekanismi joka ohjaisi kohti vähäpäästöisyyttä
- Aktiivinen vaikuttaminen EU:ssa esimerkiksi standardoinnin ja ekosuosittelun asetusten valmistelussa yhteistyössä toimialan kanssa

7 ICT-laitteisiin liittyvät haasteet ja mahdollisuudet Suomessa

Päätelaitteet ja niihin liittyvät materiaalivirrat ja ympäristövaikutukset aiheuttavat alalle kestävyys haasteita, mutta niihin liittyy myös mahdollisuuksia. Esimerkiksi laitteiden materiaali- ja energiatehokkuuden parantaminen, primäärimateriaalien tehokkaampi louhinta ja prosessointi, kierrätyslogistiikan ja -teknologian parantaminen ja koko arvoketjun kattava kokonaisoptimointi ovat tärkeitä osatekijöitä sille, että ICT-laitteisiin liittyvästä kokonaisuudesta voidaan rakentaa kestävällä pohjalla toimiva ekosysteemi. EU:n uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma (EC, 2020) painottaa kestävien arvoketjujen luontia ja tuo esille nimenomaan elektroniikkaan liittyviä uusia aloitteita, joiden tarkoituksena on parantaa laitteiden suunnittelua ja korjattavuutta, SER:in keräystä ja käsittelyä ja vaarallisten aineiden hallintaa. Vaikka tämä raportti keskittyy Suomeen (ja osin EU:iin), pitää haasteita ja mahdollisuuksia kartoitettaessa ottaa huomioon myös ekosysteemiin liittyvät globaalit markkinat. Ja vaikka tarkastelemme vain päätelaitteisiin liittyviä näkökulmia, tuo digitalisaatio kokonaisuutena huomattavia lisähyötyjä myös muille teollisuudenaloille.

Tässä luvussa käydään haasteet ja mahdollisuudet läpi elinkaaren eri vaiheiden (Kuva 1) osalta. Aineisto perustuu kirjallisuuslähteisiin (Judl ym., 2018) ja haastatteluihin. Haastateltavat ovat edustaneet sektorin eri toimijoita niin yksityiseltä kuin julkiselta sektorilta, sekä eri arvoketjun vaiheista.

7.1 Raaka-aineet

Raaka-aineisiin liittyvät haasteet päätelaitteissa kytkeytyvät pääasiassa metallien louhintaan ja prosessointiin. Älylaitteisiin voidaan tarvita 50-80 eri materiaalia, joista monet ovat arvokkaita ja harvinaisia metalleja ja joiden louhinta ja prosessointi vaativat paljon energiaa, vettä ja muita resursseja.

Haasteet

- 1) Raaka-aineiden louhinnalla ja prosessoinnilla on suuret **suorat ja epäsuorat päästöt** ja lisäksi ne aiheuttavat maankäyttöön liittyviä epäsuoria vaikutuksia (mm. biodiversiteetti ja vesistövaikutuksia, hiilinielun heikkenemistä).

- 2) Ympäristön kannalta lisähaasteita tulee siitä, että Suomessa **esiintymien sijainti suhteessa ympäristöönsä** on luonnonsuojelun ja matkailun kannalta haasteellinen (esim. Kuusamossa ja Kolarissa). Kaivosten sijaintia ei voi valita, vaan ne perustetaan malmiesiintymien perusteella. Haasteet määräytyvät esiintymän sijainnin, geologisten ominaisuuksien ja haitta-aineiden sekä paikallisen elinkeinotoiminnan ja asukkaiden/ matkailijoiden/ muiden suhtautumisesta kaivostointaan kyseisellä paikalla. Tähän liittyy myös vahvasti vesiensuojelu ja –hallinta, sillä näiden kautta vaikutusten laajuus voi kasvaa. Kaivostoiminnan mainehaasteet ja sosiaalinen hyväksyttävyys kärsivät, jos ympäristölle aiheutetaan suurta vahinkoa. Samaan aihepiiriin liittyy myös valtion tai kuntien NIMBY- asenne, eli että ulkoistetaan omien tarkkojen ympäristöstandardien perusteella tuotanto muihin maihin, joissa ei ole käytössä yhtä tarkkaa ympäristönsuojelua.
- 3) Ympäristövaikutusten lisäksi metallien tuotannolla on globaalissa mittakaavassa myös **sosiaalisia ulkoisvaikutuksia** (esim. konfliktimineraalit).
- 4) Haaste (globaaleissa) metalliketjuissa on **jäljitettävyyden puute**: missä metallit valmistetaan, minne ne viedään jalostettavaksi ja mitä ympäristövaikutuksia tai -riskejä niihin matkan varrella liittyy. Asiakkaat vaativat kasvavassa määrin tietoa ja vakuuksia toimitusketjun vastuullisuudesta pienentääkseen omia riskejään. Metalleista harvoin voidaan toimittaa tällaista tietoa, joten riski vastuuttomista toimitusketjuista on jatkuvasti olemassa.
- 5) Suomen osalta haasteita globaaleihin markkinoihin nähden asettavat myös hyvin pienet **vaikutusmahdollisuudet** muiden, suurien tuotantomaiden ympäristö-/ vastuullisuusriskeihin. Osana EU:a mahdollisuuksia on kuitenkin jonkin verran enemmän.
- 6) Erillisenä haasteena on mainittu **yksittäiset raaka-aineet**, joita Suomessa ei ole, tai joiden jalostamista Suomessa (Euroopassa) ei tehdä. Näihin liittyy raaka-aineiden niukkuutta, jolloin kaivostoimintaa tarvitaan lisää vastaamaan globaaliin kysyntään ja myös totaalista puutetta, eli kaikkea ei löydy suomalaisesta, eikä eurooppalaisestakaan maaperästä riittävästi. Olennaisia raaka-aineosia puuttuu esimerkiksi Li-/NiMH-akuista, tai kestopagneeteista. Joissain tapauksissa myös näiden esiintymien geologia/mineralogia voi olla rikastuksen ja jalostuksen kannalta haastava.
 - Harvinaiset maametallit: Euroopasta puuttuu niiden jalostusinfrastruktuuri ja osittain osaaminenkin.

- Koboltti: vaikka sitä Suomessa on enemmän kuin muissa Euroopan maissa, niin globaalisti ollaan riippuvaisia Kongon kaivostuotannosta.
 - Litium: Suomi on yksi harvoja eurooppalaisia (tulevaisuuden) litiumin tuottajia Li-akkuihin.
 - Grafiitti: Suomessa ei ole vielä kaivosprojekteja, mutta muutamia alkuvaiheen malminetsintäkohteita löytyy.
- 7) **Taloudellisia haasteita** Suomessa raaka-aineiden osalta liittyy kaivosprojektien rahoitukseen, sillä niillä on pitkät aikajänteet, isot investoinnit ja suuret riskit. Kansainvälisesti iso osa sijoituksista tulee riskirahoittajilta, joita Suomessa on vähän. Suomessa ei ole suuria instituutioita, jotka sijoittaisivat kaivos- tai metallurgian teollisuuteen, minkä takia näitä haetaan myös ulkomailta. Tuotannon ylösajo vie 5—10 vuotta, joten globaaliin tarpeeseen ei voida vastata lyhyessä ajassa. Luvituksen pitkä kesto ja sen saamisen epävarmuus lisää taloudellisia riskejä. Joidenkin arvioiden mukaan raaka-aineiden hinnat ovat yhä vielä liian matalalla, jotta vaikuttaisivat kysyntään, tai siihen, että primääriraaka-aineiden niukkuutta kompensoitaisiin kierrätysraaka-aineilla.

Mahdollisuudet

- 1) Suomalaisten **malmivarantojen vastuullinen hyödyntäminen** luo mahdollisuuksia. Suomessa on eurooppalaisittain poikkeuksellisen paljon louhintaa ja jalostusta. Suomesta löytyy ICT-laitteissa käytettyjen metallien ja erityisesti myös akkumetallien malmiesiintymiä (nikkeli, koboltti, litium, kulta, kupari, PGM, skandium, grafiitti) ja kaikista paitsi litiumista ja grafiitista on jo nykyään kaivostuotantoa ja litiumista ja grafiitistakin jo valmistelua. Erityisesti koboltin ja platinaryhmän metallien osalta ei Euroopassa ole muualla samanlaista potentiaalia tai olemassaolevaa kaivostoimintaa. (esim. <http://minerals4eu.brgm-rec.fr/m4eu-yearbook/>) Kaivostoiminnan lisäksi Suomessa jalostetaan em. metalleja, sekä pian myös valmistetaan ns. akkukemikaaleja.
- 2) Suomen kilpailuetu raaka-aineisiin liittyen on **olemassa olevat tuotantolaitokset, teknologia, osaaminen ja koulutus, hyvä infrastruktuuri ja korkea auto-maatio**.
- 3) Poliittiseen päätöksentekoon liittyvät mahdollisuudet toteutetaan **vahvan ja selkeän sääntelyn avulla**, jonka avulla pystytään varmistamaan kriittisten raaka-aineiden toimitusvarmuus ja parannetaan seurantajärjestelmiä esimerkiksi konfliktimineraaleihin liittyen.

- 4) **Kierrätysmateriaalien osuuden maksimointi** tasapainottamaan primääriraaka-aineen kysynnän kasvua ja vähentämään tuotantoon liittyviä ympäristövaikutuksia. Lisäksi tämä luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia.
- 5) **Jäljitettävyyden** parantaminen ja tuotteistaminen. Tähän voidaan hyödyntää digitaalisia työkaluja. Esimerkiksi Suomesta tuleva raaka-aine voitaisiin varmentaa vastuullisuusleimoilla, jotta asiakas voisi tietää että se tuotetaan kestävästi, ympäristöä ja työntekijöitä kunnioittaen ja alhaisilla CO₂-päästöillä. Tällaisen järjestelmän avulla Suomi voisi saada metalleista enemmänkin kilpailuetua.
- 6) Resurssitehokkaiden, ja näin ollen puhtaampien **teknologioiden vienti** ja näihin liittyvät palvelusopimukset.

7.2 Tuotesuunnittelu

Tuotesuunnittelulla nähdään olevan suuria mahdollisuuksia kestävämpien, energiatehokkaampien ja kierrätettävämpien lopputuotteiden suunnittelussa. Ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun nähdään parantavan päätelaitteiden kestävyttä, sillä jopa 80 % tuotteiden ympäristövaikutuksista on todettu määräytyvän jo suunnitteluvaiheessa. Tämän takia EU:n uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma mainitsee tuotesuunnittelun yhtenä kestävästä kiertotalouden kulmakivistä. (Euroopan komissio, 2020)

Euroopan komissio on käynnistänyt toimia tutkiakseen, kuinka (älypuhelimien ja televisioiden) tuotesuunnitteluun voidaan vaikuttaa materiaalitehokkuuden tai korjattavuuden parantamiseksi (esim. Cordella ym., 2020; Sanfelix ym., 2019). Komissio on myös käynnistänyt ekologisen suunnittelun valmistelututkimuksen matkapuhelimista, älypuhelimista ja tableteista.

Haasteet

- 1) Nykyään tuotesuunnittelussa ei oteta huomioon **korjattavuutta, komponenttien korvattavuutta tai elinkaaren pituutta**. Pikemminkin päinvastaisia löydöksiä esimerkiksi puhelinten osalta on tehty, ja komponenttien tai ohjelmistojen suunniteltu vanheneminen on ollut haasteena viime vuosina.
- 2) Tuotesuunnittelu **ei saa tarvittavia tietoja** kierrätystoimijoilta, jotta voisivat ottaa kierrätystekniset seikat huomioon jo suunnittelussa. Vaikka suunnittelijat pääsääntöisesti tuntevat materiaalit hyvin, saattaa heillä olla hankaluuksia tunnistaa asioita, joiden avulla mahdollistetaan helpompi kierrätys. Tuotesuunnittelijat ja

kierrättäjät toimivat usein niin erillään toisistaan, etteivät saa luontaista yhteistyötä rakennettua. Silti tietoa pitäisi nimenomaan jakaa näiden kahden toimijan välillä, jos halutaan suunnitella tuote siten (esimerkiksi kantajametallien osalta), että sen saa kierrätettyä resurssitehokkaasti.

- 3) Tuotesuunnittelun ei nähdä pystyvän vaikuttamaan **kuluttajien käytökseen**.
- 4) Jos tuotesuunnittelussa otetaan pelkät ympäristöarvot huomioon, saatetaan joutua tinkimään tuotteen **toiminnallisuuksista**. Tähän vaikuttaa myös se, että harvat metallit ovat toiminnallisuutensa tai ominaisuuksiensa suhteen korvattavissa.
- 5) Vaikka laite suunniteltaisiin helposti purettavaksi, ei se silti välttämättä paranna tilannetta kierrätystoimijan osalta. Kierrätyslaitos ottaa vastaan laajan kirjon erityyppisiä laitteita, eikä laitos näin ollen pysty välttämättä hyödyntämään laitekohaisesti suunniteltuja **purku- tai kierrätettävyyssominaisuuksia**.

Mahdollisuudet

- 1) Kestävän ja **ympäristömyötäisen tuotesuunnittelun avulla voidaan helpottaa kierrätystä** merkittävästi, sekä esi- että jatkoprosessoinnin osalta. Jos tuotesuunnittelussa pystytään valitsemaan laitteelle kierrätettävät materiaaliyhdistelmät, helposti purettavat osat, välttämään liimauksia tai vaikeasti kierrätettäviä komposiittimateriaaleja, pystytään tekemään materiaalien uudelleenhyödyntämisestä helpompaa ja ympäristötehokkaampaa. Nämä suunnittelukriteerit olisi otettava kattavasti alalla huomioon, jotta kierrätysprosessit voidaan helpommin suunnitella suuremmalle, tasalaatuisemmalle romulle. Kierrätystä helpottamaan on ehdotettu osin hyvin helppoja ratkaisuja (akkujen värikoodaus), mutta myös hieman raskaampia ratkaisuja (RFID-merkinnät⁸).
- 2) Suunnittelun avulla voidaan mm. parantaa tuotteen **käytön ajan** resurssitehokkuutta (energia, veden, kemikaalien tms. käyttöhyödykkeiden kulutus), sekä tuotteen käyttöikää ja kunnossapidettävyyttä.
- 3) Suunnittelun avulla voidaan myös helpottaa laitteen korjattavuutta. EU:ssa ollaan suunnittelemassa korjattavuuden pisteytysjärjestelmää, joka näillä nä-kymien tulee

⁸ Esimerkkinä televisioiden ekosuunnitteluasetuksesta: Elektronisissa näytöissä, joiden näyttötaulun kadmiumin (Cd) pitoisuusarvo homogeenisessa materiaalissa on yli 0,01 %, siten kuin se on määritelty tiettyjen vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa annetun direktiivin 2011/65/EU mukaisesti, on oltava ”Kadmiumia sisältä” -tunnus. Tunnuksen on oltava selvästi näkyvässä, kestävä, helposti luettavissa ja pysyvä.

kuluttajatuotteisiin energiamerkin rinnalle. Korjattavuuden pisteytysten perusteella kuluttajat pystyisivät helposti uutta laitetta ostaessaan vertailemaan eri laitteiden korjattavuutta keskenään (Cordella ym., 2019).

- 4) **Haitallisten aineiden** käyttöä pystytään vähentämään suunnittelullisin keinoin (design-out).
- 5) Lisäksi ympäristömyönteisen tuotesuunnittelun edistäminen luo pohjaa **innovoinnille** ja **kilpailukyvyn parantamiselle**: ympäristötehokkaampien tuotteiden kysyntä kasvaa, jotka puolestaan kiinnostavat myös ulkopuolisia rahoittajia.
- 6) Tuotteiden suunnittelu **modulaarisiksi** voi helpottaa korjattavuutta ja kierrätystä ja parantaa tuotteen käyttöikää. Modulaaristen tuotteiden avulla voidaan myös helpottaa tuotteiden toiminnallisia tai tyylillisiä modernisaatioita. Modulaarisuudessa on silti otettava huomioon tämän vaikutus tuotantoon tai materiaalitarpeeseen, sillä joissain tapauksissa niiden käyttö saattaa vaatia enemmän tuotantovaiheita tai suurempaa raaka-aineiden käyttöä.

7.3 Tuotanto

Päätelaitteiden tuotantovaiheeseen liittyy Suomen näkökulmasta se haaste, että siihen on vaikea vaikuttaa tuotannon ollessa suurelta osin Suomen ja EU:n ulkopuolella. Suurin osa tuotannosta tapahtuu Kiinassa, Vietnamsissa, Etelä-Koreassa, Japanissa, Intiassa, Taiwanissa, Filippiineillä Indonesiassa, Malesiassa ja Brasiliassa. Suomi pystyy EU:n jäsenmaana asettamaan painetta suurempiin tuottajamaihin, mutta ei vaikuttamaan suoraan näiden tuotantoon. Ongelmat näissä maissa liittyvät huonoihin työolosuhteisiin, työturvallisuuteen, lapsityövoimaan sekä osin myös vedenkulutukseen ja jätevesiin.

On silti muutamia asioita, joiden avulla Suomella on mahdollisuuksia vaikuttaa epäsuorasti tuotannon aikaiseen ympäristökuormitukseen. Suomen vaikutusmahdollisuuksiin liittyy erityisesti EU-regulaation kehittyminen (esim. kiertotalouden toimintasuunnitelma) tai kuluttajien tietoisuuden kasvattaminen. Näillä voidaan esimerkiksi pidentää tuotteiden käyttöikää, mikä vaikuttaa tuotannon tasoon, ohjata julkiset hankinnat sellaisiin tuotteisiin, joilla on pienimmät tuotannon ympäristövaikutukset, lisätä ympäristömerkkien tai -sertifikaattien käyttöä, joiden avulla pyritään vähentämään tuotannon ympäristövaikutuksia ja tekemään siitä läpinäkyvämpää.

7.4 Käyttö

Päätelaitteiden käytön haasteet ja mahdollisuudet liittyvät laitteiden käyttöikään sekä käytönaikaisen energiankulutuksen parantamiseen. Näihin vaikuttavat vahvasti kuluttajien tottumukset ja mieltymykset, mutta myös yleiset ohjeistukset.

Haasteet:

- 1) **Lyhyet käyttöiät** vaikuttavat siihen, että **materiaalien käyttöarvoa ei hyödynnetä** kuin hyvin pieniltä osin. Melkein ikuisesti käyttökelpoisia arvo- ja harvinaisia metalleja pystytään hyödyntämään hyvin lyhyen aikaa. Lisäksi, vaikka niiden sisältämät metallit olisivat ikuisesti kierrätettäviä, ei niitä pysty kompleksisen tuotekokoonpanon vuoksi hyödyntämään kuin pieniltä osin.
- 2) Vaikka laitteiden käyttöikää saataisiin teknisesti pidennettyä, on **ohjelmistojen, komponenttien, näyttötekniologioiden ja IC-piirien kehitys niin nopeaa**, että nämä vaikuttavat vanhan laitteen toiminnallisuuksiin. Tämän takia käyttöiät pysyvät lyhyinä, vaikka laitteet itse olisivatkin teknisesti pidempi-ikäisiä.
- 3) Laitteet on suunniteltu siten, että niitä ei pysty helposti **korjaamaan**. Usein korjaaminen on myös hinnoiteltu siten, että verrattuna uuden tuotteen hintaan, sitä ei kannata tehdä.
- 4) **Energiatehokkuusominaisuuksia**, ml. energiatehokkuutta parantavia ohjelmistoja, ei käytetä. Osittain myös tietoisuus näiden osalta on vähäistä kuluttajien parissa.
- 5) **Epäsuoraa energiankulutusta** on hankala tunnistaa ja arvioida. Päätelaitteiden energiankulutus on vain osin suoraa, laitteen tarvitsemaa energiaa. Välillinen energiankulutus liittyy esimerkiksi datansiirtoon, palveluiden käyttöön tai tiedostojen tallennukseen. Koska näihin liittyvä energia käytetään käyttäjän sitä yleensä huomaamatta, ei tähän liittyvää kulutusta käyttäjän toimesta edes pyritä vähentämään.

Mahdollisuudet

- 1) **Tuote palveluna** voi parhaimmillaan tehostaa tuotteen käyttöä. Jos laitteen omistaa valmistaja, eikä käyttäjä, on valmistajalla parhaat valmiudet korjata laite, ilman että kannibalisoit uusien laitteiden myyntiä, saaden samalla arvoa siitä, ettei joudu antamaan tilalle uutta laitetta. Tämän liiketoimintamallin avulla varmistee-

taan myös samalla se, että asiakkaat tuovat vanhat laitteensa takaisin palveluntarjoajille, sillä he eivät omista niitä. Tässä vaihtoehdossa pitää sopimusteknisesti varmistaa silti se, että kuluttaja käyttää laitetta vastuullisesti ja ympäristöä säästäen.

- 2) Kestävien **julkisten hankintojen** kriteerien tulisi kattaa myös älypuhelimet ja muut päätelaitteet. Kiertotalouden periaatteita, jotka kattaisivat myös käytön ja hankinnan voisi hyvin soveltaa kestäviin julkisiin hankintoihin liittyviin kriteereihin.
- 3) **Kuluttajien tietoisuuden** lisääminen voi monilta osin parantaa käytön aikaisia vaikutuksia, etenkin energiankulutusta. Kuluttajien tulisi ymmärtää ohjelmistopäivitysten ja käytettävissä olevien ympäristömerkkien tai kestävyysstandardien merkitys ohjaamaan ostopäätöstä ja toisaalta myös käytön aikaisia ympäristövaikutuksia. Kuluttajien osalta toki vaikuttaa myös valittujen sovellusten sisältö. Nykyään on olemassa sovelluksia, jotka vaikuttavat kuluttajan muihin kulutustottumuksiin ja pyrkivät pienentämään näiden aiheuttamaa ympäristökuormaa. Kuluttajan tietoisuuden parantaminen myös laitteiden kierrätyksestä auttaisi saamaan laitteet paremmin kierrätyksen piiriin.

7.5 Kierrätys

Kierrätys on tärkeä osa päätelaitteiden ympäristöllistä ja sosiaalista kestävyyttä. Laitteet tarvitsevat ison valikoiman eri materiaaleja, joiden kierrätys on edellytys sille, että päästään kestävämmälle tasolle. Kierrätys on kuitenkin useita vaiheita sisältävä kokonaisprosessi ja talteenottoon vaikuttavat syöte ja sen laatu, sekä kunkin prosessivaiheen tekninen toteutus suhteessa syötteeseen. Päätelaitteet ovat kompleksisuutensa ja heterogeenisuutensa takia hankalammin kierrätettävä jae, kuin monet muut, minkä takia ei ole selkeätä yhtä tapaa, millä nämä tulisi kierrättää. Kierrätykseen liittyy useita haasteita, mutta Suomen kannalta paljon myös mahdollisuuksia, jopa kansainvälisestikin.

Haasteet

- 1) Laitteiden kierrätysasteet ovat matalia, koska **keräys ei ole tehokasta**, eivätkä **kuluttajat tuo kaikkia laitteitaan keräykseen**. Pienten elektronisten laitteiden palautusaste on alhainen, eivätkä kuluttajat hyödynnä laitevalmistajien takaisinototosopimuksia. Eli vaikka lain mukaan tuottajalla on vastuu ottaa tuotteet takaisin, vaikuttaa käytännössä kuluttajan päätös siihen, mihin nämä laitteet käyttöikänsä päätteeksi jätetään tai viedään. Tämä vaikuttaa kierrätyslaitosten syötteisiin. Ke-

räyskuljetuksissakin pitää varmistaa kuinka pitkän matkan päästä yksittäisiä laitteita kannattaa kuljettaa, etenkin jos kuljetuslogistiikka toimii fossiilisilla polttoaineilla.

- 2) Kierrätys toteutetaan laitteen tai tuotteen pääraaka-aineiden mukaan. Magneettiset pääraaka-aineet viedään terästehtaalte, piirilevyt ja akut murskaukseen ja kupari kierrätys sulattoon. Siten näiden prosessien tuottamat päämetallit saadaan hyvin talteen, mutta esimerkiksi piirilevyjen sisältämät **high tech-metallit hävi-tään yleensä** sivuvirtoihin (luku 4.5). Suomessa akuista nykyään ei oteta talteen litiumia, grafiittia, harvinaisia maametalteja, vaikka koboltti, kupari, nikkeli ja rauta saadaan melko hyvin talteen. Mangaanin kierrätystä ollaan valmistelemassa. Karkeasti voisi sanoa, että perus- ja arvometallit saadaan tyydyttävästi tai kiitettävästi talteen. Ns. erikoismetallit (teknologiametallit, akkujen muut metallit ja raaka-aineet) hukataan lähes kokonaan.
- 3) Teknologisesti kaiken talteenotto on mahdollista, mutta **ei taloudellisesti kannattavaa**. Usein näissä prosesseissa taloudellinen kannattamattomuus tarkoittaa myös ympäristöllistä kestättömyyttä. Mitä alhaisempi pitoisuus ja halvempi raaka-aine, sitä todennäköisemmin sitä ei edes kannata ottaa talteen. Jos metallipitoiset raaka-aineet ovat muovin kanssa matriisissa (esim. PCB), täytyy muovi käytännössä polttaa sulatossa. Mitä kehittyneempi teknologia, sitä monimutkaisempia ja pienempiä multimetallituotteita ja multimateriaalituotteita, ja siten sitä vaikeampaa on kaiken talteenotto kierrätysprosesseissa. Esim. lyijyakku on 99 % kierrätettävä, kun taas Li-akuilta vaaditaan nykyään vain 50 % (60 % 2020; 80 % 2030) kierrätystä.
- 4) Nykyiset **pienet kierrätysvolyymit** asettavat haasteita kierrätykselle, sillä tehokkaille kierrätysprosesseille pätee suuruuden ekonomia; ne ovat suuria ja keskitettyjä. usein näihin ei kuitenkaan saada tarpeeksi kierrätysjäävirtaa, jotta ne voisivat toimia tehokkaasti.
- 5) Jätteen kierrätykseen liittyvä **lainsäädäntö ja byrokratia**. Useat toimijat kertovat haasteeksi nykyisen lainsäädännön, joka ei monilta osin tue kiertotalouteen siirtymistä. Ongelmia aiheuttaa jätteen määritelmä sekä lainsäädännölliset esteet hyödyntää jätettä tai sivuvirtoja raaka-aineena (esim. End-of-waste määritelmät, tiettyjen jätteiden siirto muualle prosessointiin).
- 6) Elektroniikkalaitteiden sisältämien **materiaalien tunnistaminen** kierrätysprosessissa aiheuttaa haasteita kierrätyksen esi- ja jatkoprosessoinnille. Kierrätystoimijoiden on hankala tunnistaa, mitä materiaaleja yksittäiset laitteet sisältävät, joten niiden ohjaaminen oikeisiin kierrätysprosesseihin on hankalaa. Vuoden 2021

alussa käyttöön tuleva SCIP tietokanta tuo helpotusta tähän kierrätysoperaattoreille. Tilannetta hankaloittaa silti se, että vaikka materiaalit tunnistettaisiinkin, ei niille kaikille ole tarjolla optimaalista prosessointia.

- 7) Kuluttajien **yksityisyyttä koskevat huolet** laitteisiinsa tallennetuista yksityisistä tiedoista.

Mahdollisuudet

- 1) Suomessa on **teknologiaa ja osaamista** kehittää kierrätystä kokonaisvaltaisesti. Suomalaisten toimijoiden yhteistyöllä voidaan systemaattisesti parantaa alan vaikeavuutta. Kierrätysosaamista voidaan hyödyntää vientiin, esimerkiksi jätteenkäsittelyn kokonaisratkaisuna. Lisäksi akkujen kierrätys on vasta kehittymässä, mutta Suomessa alkaa olla akkujen kierrätyksen osalta suurienkin toimijoiden osalta jo toimintaa ja se nähdään vahvasti kasvavaksi alaksi.
- 2) **Urbaani louhinta** tarkoittaa neitseellisten malmien louhimisen ja prosessoinnin sijaan jo prosessoitujen ns. sekundaarivirtojen hyödyntämistä. Nämä sekundaarivirrat koostuvat vanhoista, elinkaarensa päässä olevista tuotteista ja niiden sisältämistä metalleista. Näillä on **korkeammat arvometallipitoisuudet** kuin malmeissa, joten prosessointi voi olla sen takia kannattavampaa.
- 3) Metallit ovat materiaalina käytännössä loputtoman monta kertaa kierrätettäviä. Jos kierrätys mahdollistetaan, voidaan puhua hyvin kestävästä materiaalista, joskin elektroniikan tapauksessa tulee eteen kierrätyksen resurssitehokkuus. **Innovaatiot kompleksisten tuotteiden tehokkaampaan kierrätykseen**, esim. 3D-tulostettuihin metallisieppareihin perustuva selektiivinen kierrätys (Väisänen, 2018), hydrometallurgiset ratkaisut, integroidut sulatot tms. luovat systeemiä parannusmahdollisuuksia koko alalle. Suomessa näitä tutkitaan monella tutkimus- tai yksityisellä taholla.
- 4) Keräyksen parantamiseksi tarvitaan **kannusteita**, joiden avulla kuluttajat tuovat vanhat laitteensa kierrätyksen piiriin. Vaikka Euroopassa onkin lainsäädännöllisesti vaadittu tuottajien vastuuta ottaa vanhat laitteet takaisin, vaikuttaa kierrätysasteeseen silti paljon myös kuluttajan halukkuus tuoda laitteet kierrätyspisteisiin. Halukkuus kierrättää vanhat laitteet voi lisääntyä ympäristötietoisuuden kasvun myötä, mutta usein erilaiset panttijärjestelmät ovat tehokkaita kannustimia.

- 5) Elektroniikkalaitteiden materiaalikoostumuksen tunnistamiseen kierrätysprosessissa on suunniteltu esim. **RFID-, SCIP- tai muita tunnistusmenetelmiä**, joiden avulla tuottajat pystyvät ilmoittamaan tuotteidensa koostumuksen ja joita kierrätystoimijat voivat hyödyntää parhaan prosessointimenetelmän määrittelemiseksi.
- 6) **Kuntien ja tuottajayhteisöjen yhteistyöllä** voidaan parantaa kierrätyksen helpoutta ja tietoisuuden lisäämistä.
- 7) Kuluttajille on pystyttävä varmistamaan ja viestimään, että **hävitettävät laitteet käsitellään asianmukaisesti ja yksityisyyttä suojaten**. Vaikka tietoturvallinen kierrätys on Suomessa mahdollista, sen käyttö on vielä vähäistä, eikä tieto ole vielä saavuttanut kaikkia kuluttajia.

8 Johtopäätökset

Tämä raportti esittelee ICT-päätelaitteiden elinkaareen liittyviä tärkeimpiä materiaali-, energia- ja ilmastokysymyksiä. Raporttiin on koottu eri kirjallisuuslähteistä näihin liittyviä tietoja, sekä tuettu niitä haastatteluaineistolla. Kirjallisuuslähteet ovat keskittyneet suurelta osin alan kansainvälisiin aineistoihin ja vaikutuksiin, mutta haastatteluissa on keskitytty erityisesti Suomen haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Laitteet tuotetaan lähes poikkeuksetta Suomen ulkopuolella, joten suurimmat mahdollisuudet Suomessa liittyvät laitteen ympäristötehokkaan käytön parantamiseen, kierrätyksen parantamiseen sekä osittain myös vastuullisempien raaka-aineiden tuotantoon.

Yksi raportin tärkeimmistä johtopäätöksistä liittyy kuluttajien tietoisuuden lisäämiseen yhtenä politiikan välineenä. Kuluttajien tietoisuutta ja ymmärrystä päätelaitteiden ympäristökysymyksistä pystytään lisäämään systemaattisesti kaikkien elinkaaren vaiheiden osalta. Vastuullinen raaka-aineiden hankinta (Suomessa ja kansainvälisesti), laitteen ympäristömyötäinen käyttö ja korjaus, sekä kierrätys ovat tärkeitä aiheita. Erityisesti käytön ajalta kuluttajien olisi hyvä olla tietoisia energiatehokkaista käyttötavoista, ohjelmistopäivityksistä ja korjattavuudesta. Lisäksi kuluttajien tietoutta lakisääteisistä oikeuksista ja kestävyysstandardeista tulisi lisätä (esimerkiksi EU:n määräämä lakisääteinen kahden vuoden tuotetakuu, ympäristömerkit). Tietoisuus vaikuttaa kuluttajien hankintapäätöksiin, käyttötottumuksiin, vaadittuihin toiminnallisuuksiin, laitteen uusimisväleihin sekä kierrätykseen viemiseen. Vaikka julkinen sektori pystyy parantamaan tietoisuutta, on päätös hankinnasta ja toimintamalleista kuitenkin aina kuluttajan.

Kuluttajien päätösvaltaan kuuluvat monet päätelaitteiden ympäristövaikutusten kannalta olennaisimmat toimenpiteet ja lisäksi tietoa vastuullisten päätösten tekemiseen on huonosti saatavilla. Kuluttajan ympäristömyönteisistä toimista tärkeimpiä olisivat:

- hankkia vastuullisesti (ympäristöllisesti ja sosiaalisesti) tuotettuja laitteita
- olla tietoinen eri menetelmistä omilla toimillaan parantaa käytön aikaista suoraa ja epäsuoraa (infrastruktuurin vaatimaa) energiankulutusta
- käyttää laitetta optimaalisen kauan ja viedä laite siihen soveltuvaan kierrätyspisteeseen elinkaaren lopussa

Kuluttajia ei voida vastuuttaa silti kohtuuttoman paljoa, etenkin kun kohti kestävämpiä kulutustottumuksia ohjaavaa tietoa ei ole vielä tarpeeksi saatavilla. Kun kuluttajille jää suuri vastuu ympäristömyönteisistä toimista, tulisi julkisen sektorin omalla toiminnalla

nallaan edistää oikeiden päätösten syntymistä. Silta osin kuin päätelaitteiden ympäristövaikutuksia voidaan pienentää niiden käyttöikää pidentämällä, olisi korjaustoiminnan tukeminen yksi mahdollinen keino tavoitteen edistämiseksi. Avustusten käyttöä rajoittavat kuitenkin EU:n valtiontukisäädökset ja verotuksellisista keinoista esim. ALV-direktiivin rajoitteet alennetuille verokannoille eivät nykyisellään mahdollista päätelaitteiden korjauksen tukea. Näin ollen julkiset toimet tulee – kuten tuotepoliitikassa pääsääntöisesti muutoinkin – toteuttaa EU:n yhteisin toimin. Tämä voisi pitää sisällään varaosien saatavuuden edellyttämistä, korjattavuutta ja kierrätettävyyttä koskevia ekos suunnitteluvaatimuksia ja tiedonkulun parantamista toimijoiden välillä koskevia toimia.

Lisäksi yksityisen sektorin toimijoilla on mahdollisuus ja vastuu ohjata Suomessa käytettävien ICT-päätelaitteiden ympäristövaikutuksia. Vaikka suomalaisilla yrityksillä ei ole tuotannollista toimintaa, voivat he asettaa hankintakriteerejä laitteiden tuottajille tai alihankkijoilleen. Lisäksi myyjällä on mahdollisuus parantaa kuluttajien ympäristötietoisuutta (esim. tuotantoketjuista tai laitteen käytöstä) myynnin ja kunnossapidon yhteydessä.

Päätelaitteiden elinkaaritiedon systemaattisempi kerryttäminen on tärkeä toimenpide, joka tulisi aloittaa Suomessa keskitetysti (esim. digitaalinen, laitteen yksilöivä tuotepassi). Tämä voisi osaltaan ohjata kuluttajien kestäviin valintoihin. Nykyiset materiaali-, energia ja ilmastovaikutusarvot perustuvat vahvoihin oletuksiin ja usein niissä on hyödynnetty kansainvälistä aineistoa, joka ei ota huomioon suomalaisia erikoispiirteitä. Vankempia tilastoja tarvitaan kotitalouksien käytössä olevista laitteista, käyttämättömistä laitteista, energiankulutuksesta ja käyttöi'istä. Sähkö- ja elektroniikkaromun osalta Suomessa kerätään jo kansallista jätevirtatietoa.

Suomessa on varsin paljon kierrätykseen liittyvää teknologiaa ja osaamista. Yhteistyöverkosto, joka koostuu alan yksityisistä, akateemisista ja julkisista toimijoista, mahdollistaa uusien innovaatioiden syntymisen ja käyttöönoton, tukevan regulaation kehityksen, infrastruktuurin rakentamisen ja julkisen TKI-rahoituksen tarjoamisen. Eurooppalaisten ja kansainvälisten toimijoiden kiinnostus toimia Suomessa lisää myös suomalaista investointiherkkyyttä. Kierrätykseen sekä resurssitehokkaaseen primääri- raaka-aineiden prosessointiin liittyvän teknologian siirtoa/vientiä tulee Suomessa tukea, kuitenkin siltä pohjalta, että niiden vienti perustuisi kestävyyskriteereihin, joita pystyttäisiin myös arvioimaan kohdemaittäin.

Vaikka Suomi ei suoraan voikaan vaikuttaa globaaleihin tuotantoketjuihin, pystyy se EU:n kautta vaikuttamaan ympäristömyötäisen suunnittelun parantamiseen ja kestävä tuotepoliittisen kehityksen luontiin EU:ssa. EU:n kautta Suomi pystyy asettamaan

myös painetta parantaakseen tuotteiden tuotantoketjujen materiaali- ja energiatehokkuutta ja vähentääkseen ketjuihin liittyviä vastuullisuusriskejä. Lisäksi EU:n kautta pystytään myös edistämään tuotantoketjujen läpinäkyvyyttä ja jäljitettävyyttä.

Liitteet

LIITE 1.

Projekti	Sisältö	Mukana	Rahoittaja	kesto
CloseLoop	Korkean jalostusarvon teknologioiden materiaalikäyttö ja tehokkuus. Suljettujen materiaalikierrojen teknologiat, kiertotalouden uudet liiketoimintamallit, kuluttajien toiminta.	Aalto yliopisto, VTT, Helsingin yliopisto, Kuluttajatutkimuskeskus	Suomen Akatemia	2016-19
BATCircle	Akkumetalliekosysteemi; kestävät primääriresurssit, akkujen kierrätys, kiertotalouden liiketoimintamallit, teknologian kehitys	GTK, Outotec, Boliden, Mawson, OY, Keliber, Fortum, Norilsk Nickel, Aalto, LUT, Suhanko, Itä-Suomen yliopisto, VTT	BF	2019-20
CMEco	Metallien kiertoeosysteemi		BF	2017-18
ARVI	Materiaalien arvovirrat – Arvoa kiertotaloudesta	VTT, Aalto, Outotec, Kuusakoski, Arcada, SYKE,	BF	
Novel Circular Economic Approaches for Efficient Extraction of Valuables from Spent Li-Ion Batteries		GTK	BF	
SYMMET	Symbiosis of metals production and nature	Aalto, Luxmet, OY, VTT, LUT, Outokumpu, Owatec, Outotec, SSAB, Boliden	BF	
Ensuring sustainable and high quality lithium chemical production for downstream processing for European Li-Ion batteries		Keliber	BF	
Flexible electronics materials using roll-to-roll atomic layer deposited coatings		LUT	BF	
NegaOctet (Ranska)	Tutkimusprojekti, jonka tavoitteena on kehittää ja testata vertailuarvo digitaalisten palveluiden ympäristövaikutusten arvioimiseksi elinkaarianalyysin (LCA) lähestymistavan perusteella niiden ekologisen suunnittelun kannalta.	Bureau Veritas ja kumppanit		
ALIM: Advanced LI Metal electrodes	Improved batteries		EIT	
CarSiFer: Innovative Recycling Solution for waste containing Carbon, Silicon and Iron,			EIT	

https://eitrawmaterials.eu/project/carsifer/				
CERA: Certification of raw materials https://eitrawmaterials.eu/project/cera/	Supply chain sustainability		EIT	
Closurematic https://closurematic.com/	kehittää digitaalista työkalua kaivoksen sulkemisen tueksi	GTK	EIT	
Credit: Chemical recycling through electrodialysis treatment https://eitrawmaterials.eu/project/credit/	water treatment and chemical recovery of highly concentrated low-value sulfate waste from a battery chemical plant		EIT	
DISPLAY: Upscale of material recovery from display applications and Printed Circuit Boards https://eitrawmaterials.eu/project/display/	upscale and implement an innovative process cascade specified to recover raw materials from electronic display appliances and printed circuit boards (PCBs)		EIT	
EMFIS: European Material Stock and Flow Intelligence Service https://eitrawmaterials.eu/project/emfis/	performing comprehensive material stock-flow analyses, including WEEE flows		EIT	
IRTC: International Round Table on Materials Criticality https://eitrawmaterials.eu/project/irtc/	international network of experts in critical raw materials who work on definitions and assessments on which materials are or will be critical in the future.		EIT	
OpTaRec: Optimising the Tantalum Recycling Process through Conditioning of Raw Materials, Process Automation and Material Logistics https://eitrawmaterials.eu/project/optarec/	reduction of the impact on the environment through the decrease of material loss emissions and developing innovative solutions for processing other recycling materials		EIT	
SUPRIM: Sustainable Management of Primary Raw Materials through a better approach in Life Cycle Sustainability Assessment (primary) https://eitrawmaterials.eu/project/suprim/	LCIA for resource availability/depletion, LCI datasets		EIT	
WEEE REC: Upscaling of key technology for a recycling facility for 30,000 t/a WEEE-concentrate https://eitrawmaterials.eu/project/weee-rec/	upscale an innovative technology for metallurgical treatment of up to 100 % Waste Electric and Electronic Equipment (WEEE) concentrate		EIT	
GRAPHENE Flagship	Uudenlainen, valtava grafeeniin liittyvä, koordinoitu EU:n suurin tutkimusaloite. tarkoituksena yhdistää grafeeniin liittyvää akateemista ja teollista tutkimusta. Konsortio koostuu 150 tutkimusryhmästä 23 maassa. Yksi komission FET-flagship-ryhmistä.	Aalto yliopisto, Chalmers University of Technology (koordinaattori)	EU	

European Battery Alliance	<p>Based on EC's "Europe on the move" policy</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 110 M€ additional funding by EC in 2018/2019 Horizon 2020 calls ▪ Long term development funding (1 B€) ▪ European Investment bank support for cell manufacturing project development in Europe 			
---------------------------	---	--	--	--

	1																
[ronnia]	Al	Sb	As	Be	Bi	Cd	Ce	Cr	Co	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Ge	Au	
2013	260,145	1,547	0,01938	0,007795	0,004735	0,009856	0,007468	17,456	1,822	215,195	0,188252	0,015089	0,000254	0,019331	0,002089	0,150324	
2014	251,112	1,546	0,018506	0,007835	0,004569	0,008942	0,007009	17,667	1,942	219,869	0,18852	0,015489	0,000249	0,020151	0,002135	0,145309	
2015	252,118	1,322	0,01812	0,007605	0,004535	0,00811	0,006879	17,204	20,82	206,995	0,188092	0,015387	0,00024	0,020341	0,002189	0,13079	
2016*	255,69	1,429	0,018853	0,007408	0,004742	0,008218	0,006975	17,465	1,876	212,679	0,188809	0,016051	0,000249	0,019572	0,002117	0,138047	
2017*	262,192	1,47	0,019147	0,007524	0,004823	0,008274	0,00709	17,934	1,936	219,945	0,190137	0,01633	0,000252	0,020041	0,002169	0,141029	
2018*	269,755	1,518	0,019485	0,007658	0,004917	0,008336	0,007222	18,48	2,005	228,438	0,191607	0,016652	0,000256	0,020585	0,0023	0,144487	
2019*	277,737	1,568	0,019837	0,007798	0,005015	0,008398	0,00736	19,056	2,079	237,444	0,193078	0,016989	0,00026	0,021159	0,002294	0,148124	
2020*	285,914	1,62	0,020197	0,007941	0,005115	0,008461	0,007501	19,647	2,154	246,681	0,194564	0,017333	0,000265	0,021747	0,00236	0,151846	

	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
[tonnia]	Ho	In	Fe	Ia	Pb	U	Mg	Mn	Hg	Mo	Nd	Ni	Nb	Pd	Pt	Pr
2013	0,000131	0,033492	3,487	0,006534	8,777	0,005727	5,115	35,409	0,001424	0,015436	1,944	20,498	0,002018	0,032073	0,001194	0,415735
2014	0,000133	0,033342	3,500	0,006392	9,073	0,005849	5,103	35,528	0,001341	0,014401	1,952	21,289	0,002019	0,031899	0,001111	0,417618
2015	0,000129	0,034131	3,515	0,006265	8,198	0,00573	5,016	35,714	0,001291	0,013672	1,948	21,194	0,002023	0,029258	0,001035	0,41528
2016*	0,000122	0,032652	3,481	0,00634	8,444	0,005441	5,125	35,353	0,001333	0,014057	1,962	20,784	0,002056	0,030492	0,001042	0,421674
2017*	0,000125	0,033478	3,552	0,006452	8,702	0,005576	5,226	36,064	0,001351	0,014224	1,978	21,252	0,002099	0,031276	0,001051	0,425242
2018*	0,000128	0,034438	3,663	0,006582	9,003	0,005733	5,343	36,887	0,001371	0,014413	1,997	21,796	0,002148	0,032188	0,001062	0,42924
2019*	0,000132	0,035451	3,719	0,006718	9,321	0,005898	5,466	37,752	0,001392	0,014609	2,016	22,368	0,002199	0,03315	0,001072	0,433294
2020*	0,000136	0,036489	3,807	0,006856	9,548	0,006068	5,591	38,637	0,001414	0,014808	2,035	22,954	0,002252	0,034136	0,001083	0,437404

	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
[tonnia]	Re	Rh	Ru	Sm	Sc	Se	Ag	Sr	Ta	Te	Tb	Sn	W	V	Y	Zn	Zr
2013	0,0004772	0,002035	0,000035	0,10173	0,001807	0,001672	0,673	1,155	0,155036	0,000425	0,014637	18,664	0,541	0,005616	0,002656	20,594	0,034348
2014	0,0004892	0,001964	0,000033	0,101407	0,002216	0,001548	0,664	1,168	0,148712	0,000416	0,014674	18,19	0,576	0,005644	0,00268	20,795	0,033314
2015	0,004856	0,001949	0,000033	0,100862	0,00233	0,001426	0,593	1,141	0,1435195	0,000414	0,014588	16,869	0,52	0,005627	0,002684	19,72	0,033065
2016*	0,005077	0,002038	0,000035	0,101382	0,002111	0,001415	0,624	1,154	0,14521	0,000426	0,014806	17,844	0,543	0,00538	0,002695	20,267	0,034573
2017*	0,005164	0,002073	0,000035	0,101886	0,002177	0,001428	0,637	1,177	0,147402	0,000434	0,014925	18,39	0,561	0,005508	0,002754	20,857	0,035165
2018*	0,005264	0,002113	0,000036	0,102428	0,002254	0,001443	0,652	1,203	0,149919	0,000444	0,015057	19,028	0,581	0,005657	0,002822	21,546	0,035847
2019*	0,005369	0,002115	0,000037	0,102951	0,002335	0,001458	0,668	1,231	0,152541	0,000454	0,01519	19,703	0,602	0,005814	0,002894	22,274	0,036561
2020*	0,005476	0,002198	0,000037	0,103548	0,002419	0,001473	0,685	1,26	0,155218	0,000464	0,015325	20,395	0,624	0,005975	0,002968	23,02	0,03729

LIITE 2.

Lähteet

Accenture, 2014. <https://www.accenture.com/fi-en/company-study-smart-devices-problematic-most-consumers>

ADEME, 2018. Lhotellier, J., Less, E., Bossanne, E., Pesnel, S. Modélisation et évaluation ACV de produits de consommation et biens d'équipement – Rapport. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/acv-biens-equipements-201809-rapport.pdf> [Viitattu 15.5.2020]

Amnesty International, 2016. This is what we die for: Human rights abuses in the Democratic Republic of the Congo power the global trade in Cobalt.

Andrae, A.S.G., 2020. Hypotheses for Primary Energy Use, Electricity Use and CO2 Emissions of Global Computing and Its Shares of the Total Between 2020 and 2030. WSEAS Transactions on Power Systems 15: 50-59. <https://www.wseas.org/multimedia/journals/power/2020/a125116-083.pdf> [Viitattu 7.4.2020]

Andrae, A.S.G., & Edler, T., 2015. On global electricity usage of communication technology: trends to 2030. Challenges 6 (1): 117-157. <https://www.mdpi.com/2078-1547/6/1/117> [Viitattu 7.4.2020]

Apilo, O, Hongisto, M & Lasanen, M, 2015. Esiselvitys matkaviestinverkkojen tukiasemien sähkön käytöstä ja energiatehokkuudesta. VTT Asiakasraportti, vol. VTT-CR-03348-15, VTT Technical Research Centre of Finland. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2015/VTT-CR-03348-15.pdf>

Apple, 2019. Product Environmental Report, iPhone 11, September 10, 2019. https://www.apple.com/environment/pdf/products/iphone/iPhone_11_PER_sept2019.pdf [Viitattu 15.4.2020]

Bachér J, Yli-Rantala E, zu Castell-Rüdenhausen M, Mroueh U-M, 2017. Future Trends in WEEE Composition and Treatment - A Review Report. Research Report No D2.3-2 & D4.2-6 <http://arvifinalreport.fi/files/D2.3-2%20and%20D4.2-6%20Review%20report%20on%20WEEE%20composition%20and%20treatment.pdf> [Viitattu 16.4.2020]

Bakker, C., Wang, F., Huisman, J. and den Hollander, M., 2014. Products that go round; Exploring product life extension through design, Journal of Cleaner Production (69). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652614000419?via%3Dihub>

Bartie, N., Abadias Llamas, A., Heibeck, M., Fröhling, M., Volkova, O. & Reuter, M, 2019. The simulation-based analysis of the resource efficiency of the circular economy - the enabling role of metallurgical infrastructure. Mineral Processing and Extractive Metallurgy 129(2): 229-249.

Belkhir, L. and Elmeligi, A., 2018. Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations, Journal of Cleaner Production. Elsevier, 177, pp. 448–463. <https://www.ourwebofinconvenienttruths.com/wp-content/uploads/2015/02/ICT-Global-Emissions-Footprint-Online-version.pdf>

- Bloomberg, 2019. Lithium, Cobalt Costs Hinder Battery-Powered Car Sales: HSBC. <https://www.bnnbloomberg.ca/lithium-cobalt-costs-hinder-battery-powered-car-sales-hsbc-1.1177506> [Viitattu 16.6.2020]
- Bourguignon, D., 2016. Circular economy package: four legislative proposals on waste. Briefing for European Parliamentary Research Service. European Parliament [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/614766/EPRS_BRI\(2018\)614766_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/614766/EPRS_BRI(2018)614766_EN.pdf)
- Buchert, M., Manhart, A., Bleher, D. & Pinger, D., 2012. Recycling critical raw materials from waste electronic equipment. Freiburg: Öko-Institut eV.
- Calchand A, Branch P, But J, 2010. Analysis of Power Consumption in consumer ADSL Modems, CAIA Technical Report 100125A.
- Cayumil, R., Khanna, R., Rajarao, R., Mukherjee, P. & Sahajwalla, V., 2015. Concentration of precious metals during their recovery from electronic waste. Waste Management Nov; 57:121-130.
- Cisco, 2020. Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html> [Viitattu 27.4.2020]
- Cordella M., Alfieri, F. & Sanfelix F., 2019. Analysis and development of a scoring system for repair and upgrade of products – Final report, Publications Office of the European Union. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC114337>
- Cordella, M., Alfieri, F. & Sanfelix, J., 2020. Guidance for the Assessment of Material Efficiency: Application to Smartphones, Publications Office of the European Union. <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/guidance-assessment-material-efficiency-application-smartphones>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Lenny Koh, S. & Rosa, P., 2015. Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51: 263-272.
- Deng, W-J., Giesy, J. P., So, C. S., Zheng, H-L., 2017. End-of-life (EoL) mobile phone management in Hong Kong households, Journal of Environmental Management. Academic Press, 200, pp. 22–28. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28549303/>
- DNA Oyj, Vastuullisuusraportti 2019, 2020. https://corporate.dna.fi/documents/94506/120817/DNA_vuosi_2019.pdf/e946d573-7cce-bc52-a290-10978d658397?t=1582874603075 [Viitattu 5.6.2020]
- Efoui-Hess M., 2019. Climate Crisis: The Unsustainable Use of Online Video. The Shift Project. <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/07/2019-02.pdf> [Viitattu 27.4.2020]
- Energiavirasto, 2020. Ekosuunnitteluinfo-palvelu. <https://ekosuunnittelu.info/> [Viitattu 16.6.2020]
- Engaged, 2012. The energy required to charge an iPad. <https://www.engadget.com/2012-06-22-the-energy-required-to-charge-an-ipad.html?>

Eskelinen, H., Haavisto, T., Salmenperä, H. & Dahlbo, H., 2016. Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet. Nro D4.1-3. Helsinki: Clic Innovation.

EU, 2019. European Circular Economy Stakeholder Platform, <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/news-and-events/all-events/international-e-waste-day-2019>

Euroopan komissio, 2008. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle kestävän kulutuksen ja tuotannon ja kestävän teollisuuspolitiikan toimintaohjelmasta. KOM(2008) 397 lopullinen.

Euroopan komissio, 2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/125/EY, annettu 21 päivänä lokakuuta 2009, energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista.

Euroopan komissio, 2017. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle vuoden 2017 EU:n kannalta kriittisten raaka-aineiden luettelosta. COM(2017) 490 final.

Euroopan komissio, 2017b. Study on the review of the list of critical raw materials - Criticality assessments.

Euroopan komissio, 2020. Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma – puhtaamman ja kilpailukykyisemmän Euroopan puolesta. COM(2020) 98 final.

Euroopan unioni, 2019. European Circular Economy Platform, <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/news-and-events/all-events/international-e-waste-day-2019>

Eurostat, 2020. Recycling rate of e-waste. https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020_rt130&plugin=1 [Viitattu 14.5.2020]

Ferreboeuf H., 2019. Lean ICT: Towards digital sobriety: Our new report on the environmental impact of ICT, The Shift Project https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/Lean-ICT-Report_The-Shift-Project_2019.pdf [Viitattu 28.4.2020]

FiCom ry, 2020. Digitalisaatio auttaa energiatehokkuudessa – ja tarvitsee siihen sähköä. <https://www.ficom.fi/ajankohtaista/uutiset/digitalisaatio-auttaa-energiatehokkuudessa---ja-tarvitsee-siihen-sahkkoa> [Viitattu: 7.5.2020]

Gartner., 2019. Global smartphone sales to end users from 2018 to 2020, by region (in million units). In Statista. <https://www.statista.com/statistics/755388/global-smartphone-unit-sales-by-region/> [Viitattu 29.5.2020]

Parviainen J. & Jääskeläinen, J., (2019). Teleoperaattoreiden sähkönkulutuksen kehitys ja sähkövero. <https://www.ficom.fi/sites/default/files/pictures/elomatic%20-%20sähköveraselvitys.pdf>

GeSI, 2019. Digital with a Purpose – delivering a smarter 2030. <http://digitalwithapurpose.gesi.org/platforms/digital-with-a-purpose-delivering-a-smarter2030>

Graedel, T. E., Harper E. M., Nassar, N. T., Reck B. K., 2015. On the materials basis of modern society, PNAS 112 (20).

GTK, 2020. Metallit. <http://www.geologia.fi/index.php/2019/12/08/metallit/> [Viitattu 17.6.2020]

Hischier R., Wäger P.A., 2015. The Transition from Desktop Computers to Tablets: A Model for Increasing Resource Efficiency?. Teoksessa Hilty L., Aebischer B. (eds) ICT Innovations for Sustainability. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 310. Springer, Cham.

Horn, S., Remes, A., Kotiranta, T., 2019. Dynamic modelling for metals production, Conference paper presented in SETAC Europe 29th Annual Meeting, at Helsinki, Finland in May 2019.

Huisman, J, Leroy, P, Tertre, F, Ljunggren Söderman, M, Chancerel, P, Cassard, D, Løvik, AN, Wäger, P, Kushnir, D, Rotter, VS, Mählietz, P, Herreras, L, Emmerich, J, Hallberg, A, Habib, H, Wagner, M, Downes, S., 2017. Prospecting Secondary Raw Materials in the Urban Mine and mining wastes (ProSUM) - Final Report.

Judl, J., Mattila, T., Seppälä, J., Koskela, S. and Kautto, P., 2012. Challenges in LCA comparisons of multifunctional electronic devices. In 2012 Electronics Goes Green 2012+ (pp. 1-5). IEEE.

Judl, J., Tilkanen, J., Riddlestone, S., Rubbens, C., 2018. Creating sustainable smartphones: Scaling up best practice to achieve SDG 12. Transform Together Report. https://transform-together.weebly.com/uploads/7/9/7/3/79737982/report_-_creating-sustainable-smartphone_scaling-up-best-practice-to-achieve-sdg-12.pdf

Khaliq, A., Rhamdani, M. A., Brooks, G. & Masood, S., 2014. Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective. Resources 3(1): 152-179.

Kotler, P., 1997. Marketing management: analysis, planning, implementation, and control. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall International.

Kriittisetmateriaalit.fi, 2019. BMW aikoo lopettaa koboltin ostamisen Kongosta Julkaistu: <https://www.kriittisetmateriaalit.fi/bmw-aikoo-lopettaa-koboltin-ostamisen-kongosta/> [Viitattu 12.6.2020]

Malmodin, J. and Lundén, D., 2018. The energy and carbon footprint of the global ICT and E&M sectors 2010–2015. Sustainability, 10(9), p.3027.

Morley, J., Widdicks, K. and Hazas, M., 2018. Digitalisation, energy and data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption. Energy Research & Social Science, 38, pp.128-137.

Nield, D., 2015. Our smartphone addiction is costing the Earth. Techradar, <https://www.techradar.com/news/phone-and-communications/mobile-phones/our-smartphone-addiction-is-costing-the-earth-1299378>

Nissinen, A. & Savolainen, H., 2019. Carbon footprint and raw material requirement of public procurement and household consumption in Finland – Results obtained using the ENVIMAT-model. 63 p. Reports of Finnish Environment Institute 15en/2019.

Noon M. S., Lee S.-J., Cooper J.S., 2011. A life cycle assessment of end-of-life computer monitor management in the Seattle metropolitan region. *Resour Conserv Recycl* 57:22–29.

Oracle, 2014. How much does it cost to charge an iPhone?. *Innovation Lab Series*. <https://blogs.oracle.com/utilities/iphone-6-charging-47-cents> [Viitattu 3.6.2020]

Pihkola, H., Hongisto, M., Apilo, O., Lasanen, M. & Vatanen, S., 2018. Energy consumption of mobile data transfer-Increasing or decreasing? Evaluating the impact of technology development & user behavior. In *ICT4S*, pp. 301-315.

Proske, M. & Finkbeiner, M., 2020. Obsolescence in LCA—methodological challenges and solution approaches. *International Journal of Life Cycle Assessment* 25.

Reuter, M., 2018. Inconvenient truths of the circular economy. *Rethink/Aurubis*, ss. 22-25.

Reuter, M., van Schaik, A., Gutzmer, J., Bartie, N. & Abadias-Llamas, A., 2019. Challenges of the Circular Economy: A Material, Metallurgical, and Product Design Perspective. *Annual Review of Materials Research*, 49: 253-74.

Reuters, 2019. New projects for battery material nickel need a price spur. <https://www.reuters.com/article/us-nickel-batteries-electric-graphic/new-projects-for-battery-material-nickel-need-a-price-spur-idUSKCN1VH18Z> [Viitattu 16.6.2020]

Reuters, 2020. Large stocks, subdued China demand to cap cobalt prices. <https://www.reuters.com/article/us-cobalt-prices/large-stocks-subdued-china-demand-to-cap-cobalt-prices-idUSKBN201194> [Viitattu 16.6.2020]

Sanfeliu J., Cordella, M. & Alfieri, F., 2019. Methods for the Assessment of the Repairability and Upgradability of Energy-related Products: Application to TVs. <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/methods-assessment-reparability-and-upgradability-energy-related-products-application-tvs>

Sarapää, O., Lauri, L. S., Ahtola, T., Al-Ani, T., Grönholm, S., Kärkkäinen, N., Lintinen, P., Torppa, A. & Turunen, P., 2015. Discovery potential of hi-tech metals and critical minerals in Finland. *GTK Report of Investigation 219*. http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_219.pdf

Savolainen, H., Nissinen, A. & Mäenpää, I., 2019. Kansantalouden kasvihuonekaasupäästöt ja luonnonvarojen käyttö vuonna 2015. Teoksessa Nissinen, A. & Savolainen, H. (toim.), 2019. Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö – ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja* 15/2019.

Schien, D. & Preist, C., 2014. Approaches to energy intensity of the internet. *IEEE Communications Magazine*, vol 52., pp. 130-137.

Schischke, K., Nissen, N. F., Lang, K. D., 2019. The Life Cycle of Smart Devices in 2030: The Effect of Technology Trends and Circular Economy Drivers on Future Products.

Sikdar, B., 2013. A Study of the Environmental Impact of Wired and Wireless Local Area Network Access. Consumer Electronics, IEEE Transactions on Consumer Electronics. 59. 85-92.

Statista, 2019a. Frequency of buying a new smartphone in the United Kingdom (UK) in 2017, Published by Alexander Kunst.

Statista, 2019b. Purchase frequency of a new smartphone for French consumers in 2017, by age, Published by Statista Research Department.

Suckling, J. & Lee, J., 2015. Redefining scope: the true environmental impact of smartphones?. The International Journal of Life Cycle Assessment, 20(8), pp.1181-1196.

Sullivan, M., 2018. Printed Electronics: Global Markets to 2022, BCC Research LLC.

Suomen virallinen tilasto SVT, 2019. Väestön tieto- ja viestintätekniikan käyttö, Tilastokeskus. http://www.stat.fi/til/sutivi/2019/sutivi_2019_2019-11-07_tie_001_fi.html [Viitattu: 28.4.2020]

Sustainable Innovation 2019, 22nd International Conference, Road to 2030: Sustainability, Business Models, Innovation and Design. 4.-5.3.2019.

Tanskanen, P., 2013. Management and recycling of electronic waste. Acta Materialia, Vol. 61, Iss. 3: 1001-1011.

Telia, 2020. Ympäristöraportti 2019.

The Guardian, 2019. Apple and Google named in US lawsuit over Congolese child cobalt mining deaths <https://amp.theguardian.com/global-development/2019/dec/16/apple-and-google-named-in-us-lawsuit-over-congolese-child-cobalt-mining-deaths> [Viitattu: 12.6.2020]

Traficom, 2019. Suomi Pohjoismaiden kärjessä mobiilikehityksessä - kiinteä verkko laahaa perässä.

Traficom, 2019a. Datan kulutus kasvoi voimakkaasti erityisesti matkapuhelinkäytössä <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/datan-kulutus-kasvoi-voimakkaasti-erityisesti-matkapuhelinkaytossa>.

Traficom, 2020. Viestintäpalveluiden tilastokoonti.

Tukes, 2020a. Konfliktimineraalit, <https://tukes.fi/teollisuus/konfliktimineraalit>

Tukes, 2020b. Haitalliset aineet, <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkolaitteet/sahkolaitteiden-vaatimuksia/vaaralliset-aineet-sahko-ja-elektroniikkalaitteissa-rohs>

TWI2050 - The World in 2050, 2019. The Digital Revolution and Sustainable Development: Opportunities and Challenges. Report prepared by The World in 2050 initiative. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), www.twi2050.org

UNEP, 2011. Recycling Rates of Metals - A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Graedel, T.E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Reck, B. K.; Sibley, S. F.; Sonnemann, G.; Buchert, M.; Hagelüken, C.

UNEP, 2013. Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Reuter, M. A.; Hudson, C.; van Schaik, A.; Heiskanen, K.; Meskers, C.; Hagelüken, C.

UNFCCC, 2016. ICT Sector Helping to Tackle Climate Change.
<https://unfccc.int/news/ict-sector-helping-to-tackle-climate-change>

Urban Mine Platform, 2020. Weight per capita of EEE - Placed on the Market in 2020
<http://www.urbanmineplatform.eu/urbanmine/eee/weightpercapita> [Viitattu 16.6.2020]

van Heddeghem, W., Lambert, S., Lannoo, B. et al., 2014. Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012. Comput. Commun., 50, pp. 64-76.

Vasara, H. 2018. Toimialaraportit – Kaivosala, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 40/2018 https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161860/TEM_2019_57.pdf?sequence=1&isAllowed=y

VICE, 2017. Everything That's Inside Your iPhone. https://www.vice.com/en_us/article/433wyq/everything-thats-inside-your-iphone [Viitattu 5.6.2020]

Väisänen, A., 2018. Kriittisten raaka-aineiden selektiivinen talteenotto SE-romusta. <http://circhubs.fi/wp-content/uploads/2018/03/Ari-V%C3%A4is%C3%A4nen-Jyv%C3%A4skyl%C3%A4n-Yliopisto.pdf> [Viitattu 12.6.2020]

World Economic Forum, 2019. A New Circular Vision for Electronics – Time for a Global Reboot, http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf

Twitter: @lvm.fi
Instagram: lvmfi
Facebook.com/lvmfi
Youtube.com/lvm.fi
LinkedIn: Liikenne- ja viestintäministeriö

lvm.fi